MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1900
À PARIS

RAPPORTS
DU JURY INTERNATIONAL

Groupe V. — Électricité.

CLASSES 23 À 27

PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

M CMIII

C. F. E

RAPPORTS DU JURY INTERNATIONAL

DE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900

MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1900
À PARIS

RAPPORTS
DU JURY INTERNATIONAL

Groupe V. — Électricité.

CLASSES 23 À 27

PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

M CMIII

Fb 250
557
C. F. E.

CLASSE 23

Production et utilisation mécaniques de l'électricité

RAPPORT DU JURY INTERNATIONAL

PAR

M. ÉDOUARD HOSPITALIER

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
PROFESSEUR À L'ÉCOLE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE INDUSTRIELLES
DE LA VILLE DE PARIS

C. F E

IMPRIMERIE NATIONALE.

COMPOSITION DU JURY.

BUREAU.

MM. le colonel Turrettini (Th.), ingénieur, président de l'Exposition nationale suisse de 1896, *président* . . . . . Suisse.

Monnier (Démétrius), ingénieur des arts et manufactures, professeur à l'École centrale des arts et manufactures (comités, Paris 1889; vice-président des comités, Paris 1900), *vice-président* . . . . . France.

Hospitalier (Édouard), ingénieur des arts et manufactures, professeur à l'École municipale de physique et de chimie industrielles, rédacteur en chef de l'*Industrie électrique* (rapporteur des comités, Paris 1900), *rapporteur* . . . . . France.

Hillairet (André), ingénieur des arts et manufactures, machines dynamo-électriques (secrétaire des comités, Paris 1889, 1900), vice-président de la Société internationale des électriciens, *secrétaire* . . . . . France.

JURÉS TITULAIRES FRANÇAIS.

MM. Auvert (René), ingénieur principal du service central du matériel à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée . . . . . France.

Berdin (Achille), ingénieur du service central des constructions, professeur à l'École d'application des manufactures de l'État . . . . . France.

Javaux (Émile), administrateur-directeur de la Société Gramme (grand prix, Paris 1878; hors concours, Paris 1889; comité d'installation, Paris 1900) . . . . . France.

Mascart (Éleuthère), membre de l'Institut, directeur du Bureau central météorologique, professeur au Collège de France (comités, jury, Paris 1889; commission supérieure, président des comités et du groupe V, Paris 1900; président du comité technique de l'électricité de l'Exposition universelle de 1900) . . . . . France.

Postel-Vinay (André), appareils et machines électriques (comités, jury, Paris 1889; trésorier des comités, Paris 1900) . . . . . France.

Raclet (Joannis), administrateur délégué de la Société lyonnaise des forces motrices du Rhône (comité d'admission, Paris 1900) . . . . . France.

Sciama (Gaston), directeur de la maison Bréguet (comités, jury, Paris 1889; vice-président des comités, Paris 1900), membre de la Chambre de commerce de Paris . . . . . France.

JURÉS TITULAIRES ÉTRANGERS.

MM. Rasch, ingénieur-électricien . . . . . Allemagne.

Sahulka, conseiller . . . . . Autriche.

Ball (W. D.), expert . . . . . États-Unis.

le professeur Ayrton (W. E.), membre de la Société royale de Londres, membre associé de l'Institut des ingénieurs civils de Londres, trésorier et ancien président de l'Institut des ingénieurs électriciens . . . . . Grande-Bretagne.

MM. Cajetan Banovits, conseiller ministériel, directeur du service du matériel et de la traction aux Chemins de fer de l'État, directeur au musée des communications. . . . . Hongrie.

Zunini (Louis), ingénieur, professeur à l'École polytechnique supérieure de Milan . . . . . Italie.

Chatelain (Michel), professeur de physique et d'électricité industrielle à l'École supérieure des Mines et à l'Institut électrotechnique de Saint-Pétersbourg. . . . . Russie.

Hammar (John), ingénieur, directeur des Usines de Laval. . . . . Suède.

le professeur Wyssling, professeur à l'École polytechnique de Zurich. . . . . Suisse.

JURÉ SUPPLÉANT FRANÇAIS.

M. Maiche (Louis-Eugène), ingénieur électricien. . . . . France.

JURÉS SUPPLÉANTS ÉTRANGERS.

MM. Pieper, directeur général de la Compagnie d'électricité à Liège. . . . . Belgique.

Macolmson (C. T.), expert. . . . . États-Unis.

Salamon (A. Gordon), membre du conseil de l'Institut de chimie de la Grande-Bretagne, vice-président de la Société de l'industrie chimique, membre de la Société chimique de la Grande-Bretagne. . . . . Grande-Bretagne.

Verbeek (A. D. R.), ingénieur . . . . . Pays-Bas.

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUES
DE L'ÉLECTRICITÉ.

Aux termes de l'article 46 du *Règlement général de l'Exposition,* le rapport de chaque classe doit « signaler les faits principaux constatés par le Jury, relater les progrès accomplis depuis 1889 et mettre en lumière la situation générale de la production à la fin du XIXe siècle ».

Nous avons fait tous nos efforts pour rester dans les limites de ce programme, en ne signalant, à propos de chaque machine ou appareil décrit, que les points les plus caractéristiques. Nous avons insisté plus particulièrement sur les systèmes qui n'étaient encore, en 1889, qu'à l'état embryonnaire ou même latent, tels que les dynamos et les alternateurs de grande puissance, les alternateurs compounds et asynchrones, à courants polyphasés, les transformateurs hétéromorphiques (commutatrices, permutatrices), les moteurs à courants alternatifs, la distribution et la transmission de l'énergie à distance.

GÉNÉRATEURS MÉCANIQUES
D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Les générateurs mécaniques d'énergie électrique ne comportaient, en 1889, que des dynamos à courant continu et quelques alternateurs de puissances relativement faibles. Le développement des stations centrales de distribution, des tramways électriques et du transport à distance a conduit à augmenter ces puissances dans des proportions considérables.

A la suite des découvertes de *Galileo Ferraris* et de M. *Nicolas Tesla,* en 1888, relatives aux champs tournants, sont nés les alternateurs à courants polyphasés, dont MM. *J.-L. Brown* et *Dolivo-Dobrowolsky* montrèrent la première application en 1891, dans les célèbres expériences de transport entre Lauffen et Francfort, sur une distance de 175 kilomètres, suivies, quelques années après, de l'importante installation de Niagara Falls, où fonctionnèrent pour la première fois des alternateurs diphasés d'une puissance unitaire de 3 600 kilowatts.

L'évolution subie par les générateurs mécaniques d'énergie électrique depuis 1889 est

donc caractérisée par l'accroissement de puissance des unités, d'une part, et par la création des courants polyphasés, d'autre part, qui ont véritablement révolutionné les procédés de l'industrie électrique pendant ces dix dernières années.

Nous diviserons les générateurs mécaniques d'énergie électrique en deux groupes, d'après la nature des courants qu'ils produisent.

A. *Dynamos à courant continu;*

B. *Alternateurs.*

A. — DYNAMOS À COURANT CONTINU.

Dispositions générales. — Après avoir pris les formes et les dispositions les plus variées, les types de dynamos s'uniformisent comme proportions, formes, poids, prix, rendement, etc.

Le type généralement adopté pour les grandes puissances est constitué par un induit en tambour avec noyau magnétique en tôles, conducteurs en barres logés dans des encoches ou rainures et un système inducteur multipolaire avec pôles rayonnants disposés à la périphérie de l'induit, et montés sur une carcasse magnétique circulaire ou polygonale en acier coulé, les pôles étant venus de fonte avec la carcasse ou rapportés sur cette carcasse. Il n'y a d'exception à ce type que pour les machines de faible puissance, ou pour celles destinées à certaines applications spéciales, qui ont des inducteurs mixtes ou des inducteurs en fonte.

Induit. — Les induits à pôles et les induits-disques ont aujourd'hui complètement disparu. Il n'existe plus que des induits en anneau (*Gramme*) et des induits en tambour (*Siemens*).

Induit en anneau. — L'induit en anneau est encore employé dans les machines de faible puissance, avec carcasse induite en tôle laminée, généralement sous forme d'induit *lisse*, la carcasse induite étant entièrement recouverte par le fil induit. La Société Gramme, l'Éclairage électrique, MM. Hillairet et Huguet exposaient des dynamos de ce genre. Il est complètement abandonné pour les machines puissantes, sauf dans le type spécial de la Société alsacienne de constructions mécaniques, à inducteurs intérieurs et à balais placés sur l'enroulement lui-même.

Induit en tambour. — Les induits en tambour, presque universellement adoptés aujourd'hui se divisent en induits *lisses* et en induits *dentés*. Les induits lisses conduisant à l'emploi d'un grand entrefer, imposent de grandes forces magnétomotrices sur les inducteurs, réduisent ainsi la réaction d'induit et donnent une excellente commutation. Malheureusement, surtout pour les dynamos puissantes, la fixation mécanique des conducteurs sur la carcasse magnétique présente de grandes difficultés. Ces difficultés dispa-

raissent avec les induits dentés, presque exclusivement employés aujourd'hui. La commutation est rendue satisfaisante par une saturation élevée des dents de l'induit, et par un sectionnement convenable des éléments du bobinage.

Tôles induites. — L'emploi des inducteurs en fil de fer a complètement disparu. La carcasse induite est constituée aujourd'hui par des feuilles de tôle superposées, isolées électriquement par du papier mince, du vernis, ou même par la simple oxydation.

Ces tôles portent des encoches ou, plus généralement, des rainures rectangulaires dans lesquelles vient se loger le fil induit. Les induits à trous ne sont plus employés, à cause des difficultés de construction.

Pour les dynamos puissantes, les tôles induites sont découpées en segments qui s'emmanchent à queue d'aronde dans les entailles fraisées dans le croisillon de l'induit. On croise les joints de tôles superposées, afin d'augmenter la rigidité du système et d'améliorer le circuit magnétique en réduisant sa réluctance.

Les tôles induites sont fixées par des boulons et des clavettes à section trapézoïdale sur des supports radiaux. Les boulons sont isolés, à moins qu'ils ne soient disposés intérieurement à l'induit, dans des bossages ménagés au découpage des tôles, et soustraits ainsi aux variations de flux magnétique.

Bobinage induit. — Pour les dynamos de faible puissance, l'enroulement est généralement fait à l'aide de fils cylindriques. C'est un véritable *bobinage.*

Pour les dynamos plus puissantes, on emploie des bobines faites d'avance sur forme ou gabarit et emboîtées dans les encoches de l'induit.

Pour les dynamos puissantes, l'enroulement est constitué par des *barres* de section rectangulaire, soudées à leurs deux extrémités par des pièces de raccord. Dans certains cas, ces barres servent de collecteurs, comme dans les dynamos de la Société alsacienne de constructions mécaniques, dynamos à anneau Gramme et pôles intérieurs, et certains types de MM. Schneider et Cie.

Le bobinage est fait en une seule couche ou en deux couches cylindriques superposées. Cette dernière disposition, préconisée par M. Brown, a l'avantage de permettre de constituer l'enroulement en connectant toujours directement l'un avec l'autre deux fils de couches différentes; dans ces conditions, les fils se présentent d'eux-mêmes en bonne place pour les connexions, sans qu'il soit nécessaire de les couder pour les faire chevaucher, comme on le fait toujours dans les enroulements à une seule couche. Il en résulte une grande simplicité de construction pour les applications à des machines à courants continus ou alternatifs.

Enroulement induit. — Les dynamos bipolaires comportent presque toujours un enroulement en tambour, plus rarement un enroulement en anneau. Les dynamos multipolaires sont presque toujours bobinées en tambour, mais les enroulements varient avec la nature des courants à produire.

Si on désigne par N le nombre des conducteurs et par p le nombre des pôles, on distingue :

L'enroulement *en quantité,* dans lequel les N conducteurs forment p groupes montés en dérivation, et renfermant chacun $\frac{N}{p}$ conducteurs en tension. Il comporte p lignes de balais.

L'enroulement *en série,* dans lequel les N conducteurs, quel que soit le nombre de pôles, sont couplés en deux dérivations seulement, renfermant chacune $\frac{N}{2}$ conducteurs.

L'enroulement *séries-parallèle,* dû à M. Arnold, intermédiaire entre les deux précédents et qui se prête à toutes les combinaisons de subdivision du nombre de pôles p. Ainsi, par exemple, une dynamo à seize pôles pourrait comporter les enroulements suivants :

					CIRCUITS EN QUANTITÉ.
Série	$\frac{N}{2}$	conducteurs en tension			2
Séries-parallèle	$\frac{N}{4}$	—	—		4
	$\frac{N}{8}$	—	—		8
Quantité	$\frac{N}{16}$	—	—		16

Enfin, l'enroulement *multiple,* employé en Amérique, dans lequel l'enroulement, toujours en quantité, se compose de deux ou, au plus, trois enroulements distincts, juxtaposés, intercalés et imbriqués, comportant leurs touches de collecteur distinctes également juxtaposées, intercalées et imbriquées. Des balais assez larges chevauchent sur le collecteur de façon à coupler les enroulements en dérivation. Cet enroulement, qui convient à des courants intenses, a pour but de sectionner la commutation du courant.

Nous avons supposé jusqu'ici que le nombre des conducteurs N sur le tambour était un multiple du nombre de pôles p. En réalité, pour que l'enroulement puisse se fermer sur lui-même, il faut réaliser entre N, p et la répartition des conducteurs sur la surface de l'induit, *le pas* ou *les pas* de l'enroulement, des relations numériques convenables que nous ne saurions exposer ici.

Collecteur. — On n'emploie plus aujourd'hui que des collecteurs en cuivre dur étiré, avec isolement au mica entre les lames.

Ces lames sont supportées par deux manchons et collerettes montés sur l'arbre de la dynamo, et qui viennent se loger dans des encoches de forme triangulaire ménagées aux extrémités de chaque lame.

Les isolements entre les manchons et les lames de collecteur sont généralement faits en micanite moulée. Pour les basses tensions, on emploie la fibre vulcanisée. Les coupes de dynamos que nous donnons plus loin montrent comment sont montés les collecteurs sur l'arbre, les lames entre elles et avec les conducteurs formant l'enroulement.

Balais. — Les dynamos à grand débit ou portant un très grand nombre de lames au collecteur sont encore munies de balais métalliques en fils métalliques (*Gramme*), en toile métallique ou en clinquant (*Boudreaux*).

On préfère généralement l'emploi des balais en charbon à grain très fin, recuits au four électrique, appliqués à la surface du collecteur à l'aide de ressorts facilement réglables. Ces balais en charbon polissent le collecteur, réduisent son usure au minimum, assurent à la machine un fonctionnement silencieux, ne produisent pas d'étincelles à la commutation et permettent, pour les moteurs en particulier, un calage invariable entre la marche à vide et la marche à pleine charge.

Les balais en charbon ont souvent une largeur un peu plus grande que celle des garnitures dans lesquelles ils sont fixés, ce qui permet de monter les porte-balais très près les uns des autres, d'utiliser presque toute la largeur du collecteur comme surface de contact, et de réduire ainsi sa longueur.

Monture des balais. — Les balais sont montés dans une gaine très légère, dans laquelle ils coulissent à frottement doux, de façon à pouvoir s'appliquer contre le collecteur sous l'action de ressorts en lame ou en spirale qui appuient sur leur extrémité supérieure. Cette monture est souvent établie en aluminium, pour lui donner la plus grande légèreté possible.

La monture ne doit pas être utilisée comme conducteur de courant : ce rôle est dévolu, dans les dynamos bien étudiées, à une tresse de fils de cuivre soudés sur la tête du balai.

Porte-balais. — Les balais formant des lignes en nombre égal, en général, à celui des pôles, sont montés sur un porte-balais pouvant tourner autour de l'axe, afin de permettre d'en régler le calage. Ce porte-balais est un secteur, tantôt en forme de disque, tantôt en forme d'étoile montée nue et maintenue par un support annulaire fixé au bâti, tantôt en forme d'anneau fixé par des bras à la culasse portant les inducteurs.

Pour faire tourner le secteur porte-balais sur son support, on se sert d'une poignée isolante fixée à ce secteur; une fois le réglage obtenu, on immobilise le secteur au moyen d'une vis de serrage. Dans les grandes machines, le déplacement de l'étoile porte-balais s'obtient au moyen d'un volant à double écrou agissant simultanément sur deux tiges filetées en sens inverse, et fixées l'une au socle, l'autre à l'étoile porte-balais. On peut ainsi réaliser sans effort un très faible déplacement du secteur porte-balais et caler les balais dans une position telle qu'il ne se produise pas d'étincelles au collecteur pendant la marche.

Paliers. — Les paliers des dynamos à courant continu sont tantôt portés par des flasques, tantôt venus de fonte avec le bâti, tantôt rapportés sur le socle. Ils présentent généralement une grande longueur, en vue d'augmenter la surface d'appui et de diminuer la pression sur les coussinets. Ces coussinets sont généralement en bronze, quelquefois en métal anti-friction. Pour réduire la surveillance et obtenir un bon graissage, on emploie des paliers à bagues glissant librement sur l'arbre et participant à son

mouvement de rotation. La partie inférieure de ces bagues plonge dans l'huile et la ramène à la partie supérieure de l'arbre par capillarité. Cette huile circule ainsi d'une façon continue et retombe dans le réservoir, où elle n'a besoin que d'être renouvelée à de longs intervalles. La poudre métallique provenant de l'usure des coussinets tombe au fond du réservoir, où elle s'accumule, et d'où on la retire de temps en temps.

Inducteurs. — Au point de vue de la nature du métal magnétique, les inducteurs en fonte ordinaire ont complètement disparu. Quelques dynamos sont établies en fer forgé, mais la presque totalité des machines modernes ont des inducteurs en acier coulé ou, tout au moins, des pièces polaires en acier coulé fixées sur une couronne en fonte.

L'emploi de l'acier coulé a permis de réduire le poids des dynamos, d'améliorer les caractéristiques en accentuant le genou, de produire des chutes de tension plus faibles sous charge égale, et d'améliorer la commutation.

En vue de réduire l'effet de la réaction d'induit, on oppose au flux transversal qu'il tend à développer dans les pièces polaires, une réluctance constituée par une fente radiale, occupant toute la hauteur du pôle et venant déboucher dans l'entrefer.

On a abandonné les inducteurs feuilletés, mais certaines dynamos ont encore des épanouissements polaires feuilletés. La plupart des dynamos ont des inducteurs pleins, avec de larges épanouissements polaires légèrement relevés aux cornes, quelquefois coupées en biais, en vue d'adoucir les variations de flux dans la région où se fait la commutation.

Certains constructeurs préfèrent des inducteurs en fonte d'une qualité très perméable, parce que la caractéristique obtenue est plus régulière qu'avec des circuits magnétiques en acier; ces derniers donnent une caractéristique qui est, jusqu'à une certaine saturation, presque droite et qui, au delà, s'aplatit très rapidement. Dans la première partie la tension n'est pas très stable, dans la seconde elle ne subit plus dans la même mesure l'influence de l'excitation qui exige alors des variations considérables pour une faible variation de force électromotrice.

Entrefer. — Avec les inducteurs dentés, l'entrefer est assez petit et varie, dans les machines puissantes, entre 6 et 8 millimètres. Avec les induits lisses, il est en moyenne de 20 millimètres, mais il tombe à 10 millimètres dans la dynamo Thury à intensité constante, et s'élève à 40 millimètres dans la dynamo à pôles intérieurs de la Société alsacienne de constructions mécaniques.

Rendement. — Le rendement d'une dynamo est fonction de sa puissance et peut varier entre 65 à 70 p. 100 environ pour une machine de 1 kilowatt, jusqu'à 95 p. 100 pour des dynamos dont la puissance dépasse 300 kilowatts. Avec du cuivre de haute conductibilité, des tôles et de l'acier coulé présentant les mêmes propriétés magnétiques, on obtient des dynamos dont les rendements sont, à puissance égale, sensiblement équivalents.

Voici, à titre d'exemple, la répartition des pertes et le rendement d'une dynamo à courant continu de 200 kilowatts à 550 volts et à 10 pôles, ce rendement ne tenant pas compte des frottements de l'arbre moteur.

	PERTE P. 100.
Excitation shunt	2,8
Pertes par hystérésies et courants de Foucault	1,0
Pertes par échauffement dans le fil induit	2,2
Frottement des balais, ventilatiou, RI^2 dans les balais	0,3
TOTAL DES PERTES	6,3

Rendement industriel : 93,6 pour 100.

Des chiffres de rendement relatifs à chaque machine expérimentée sont donnés dans les tableaux synoptiques résumant les différentes conditions de construction et de fonctionnement des dynamos.

Classification. — Nous ne pouvons décrire en détail toutes les dynamos exposées. Nous nous contenterons d'indiquer les points caractéristiques de chacune d'elles. Leurs dimensions sont réunies dans les tableaux qui accompagnent ce rapport. Nous suivrons, pour leur examen, la classification adoptée par M. F. GUILBERT, basée sur les caractères des inducteurs et de l'induit, et que nous reproduisons ci-dessous.

DYNAMOS À COURANT CONTINU.

- INDUCTEURS EN ACIER
  - *Induit denté*
    - Induits à rainures rectangulaires.
    - Induits à encoches.
  - *Induit lisse*
    - Induit intérieur.
    - Induit extérieur.
- INDUCTEURS MIXTES
  - *Inducteurs feuilletés.*
  - *Inducteurs en acier.*
  - *Inducteurs en fer forgé.*
- INDUCTEURS EN FONTE.

INDUCTEURS EN ACIER.

INDUCTEURS EXTÉRIEURS.

INDUIT DENTÉ.

INDUITS À RAINURES RECTANGULAIRES.

SIEMENS FRÈRES (Londres). — La plus puissante dynamo à courant continu de l'Exposition. Peu volumineuse, à cause de sa vitesse angulaire relativement élevée. Carcasse inductrice en acier coulé en deux parties, section rectangulaire.

Inducteurs venus de fonte avec la carcasse. Section rectangulaire. Pièces polaires

vissées, légèrement cintrées sur leurs côtés parallèles à l'axe. Bobines inductrices sur carcasses isolantes avec joues en bronze.

Carcasse de l'induit portée sur un tambour en acier, supportée par des bras venus de fonte avec des projections destinées à maintenir les enroulements. Induit denté à rainures recevant chacune quatre barres isolées. Bobinage multipolaire en quantité. Collecteur isolé au mica. Balais en charbon. Porte-balais en aluminium (fig. 1).

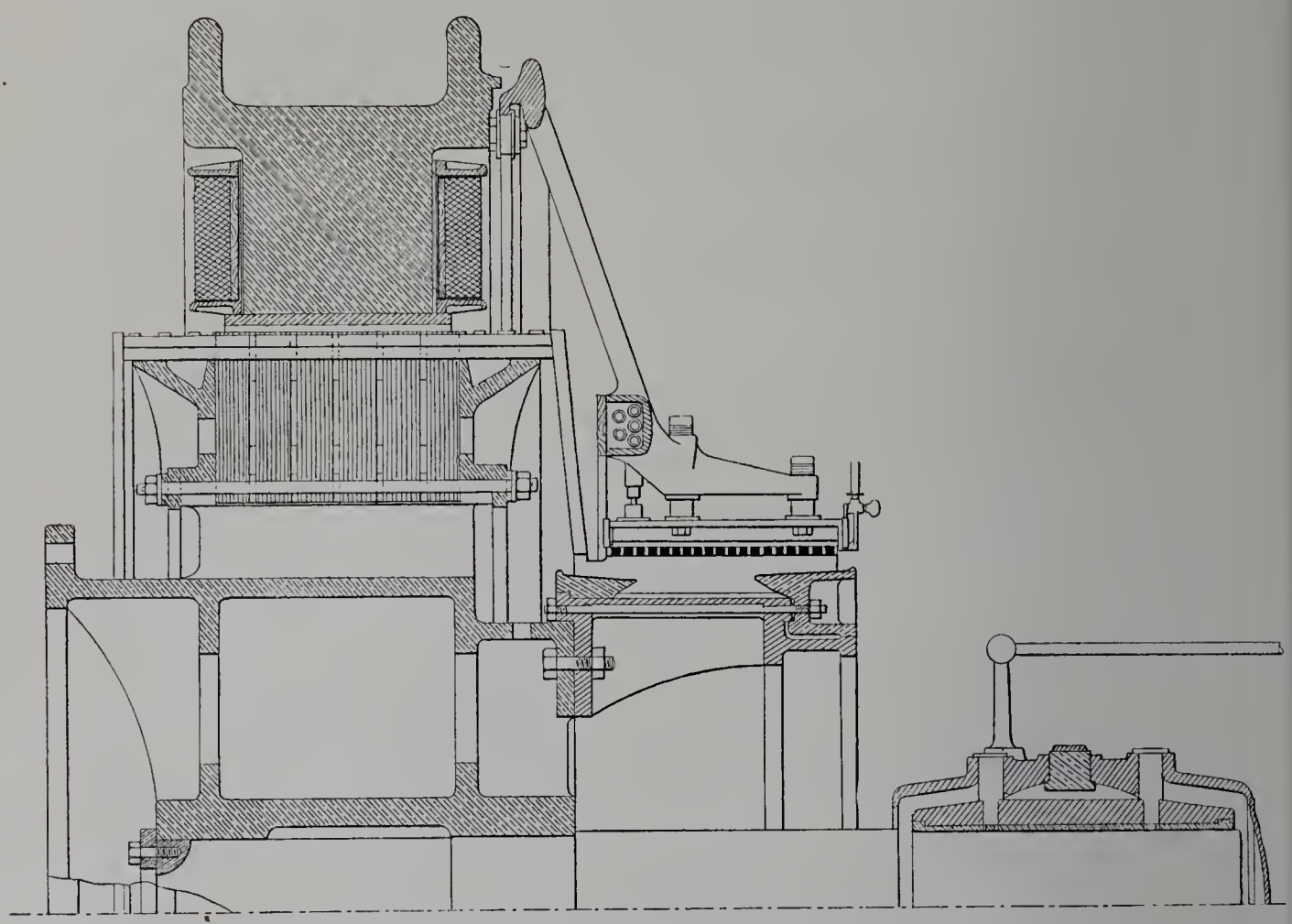


Fig. 1. — Dynamo de 1 530 kilowatts de MM. Siemens frères, de Londres.

Compagnie de Fives-Lille. — Type de 200 kilowatts pour traction, excitation coumpound. Carcasse induite en acier coulé en deux parties. Pôles à section rectangulaire venus de fonte avec la carcasse. Épanouissements polaires en acier coulé rapportés et fixés par des vis. Enroulement shunt en fil. Enroulement série en bande de cuivre roulée sur plat. Induit à rainures. Bobinage tambour séries. Balais en charbon (fig. 2).

Sautter, Harlé et Cie. — Cette dynamo, étudiée pour supporter de grandes variations de charge sans décalage des balais et sans variations sensibles de tension, comporte des petits pôles supplémentaires disposés entre les pôles inducteurs normaux, excités

en série et destinés à faciliter la commutation. Les inducteurs sont compound. Le bobinage induit est constitué par des développantes soudées sur un faux collecteur,

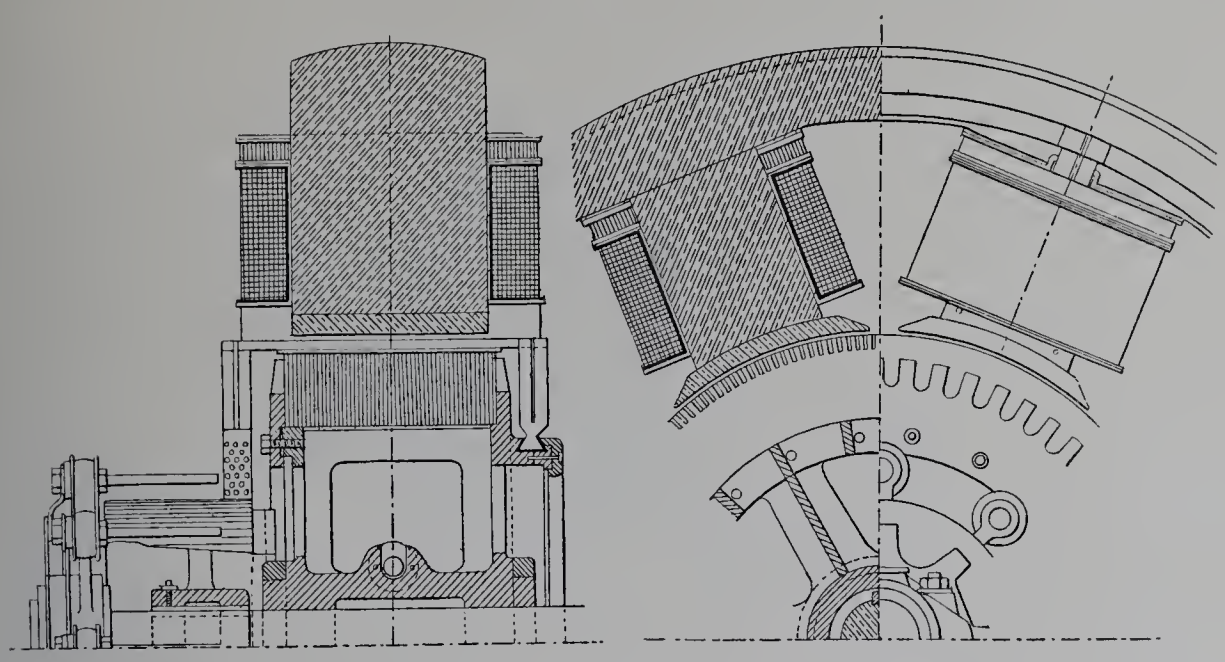


Fig. 2. — Dynamo de 220 kilowatts de la Compagnie de Fives-Lille.

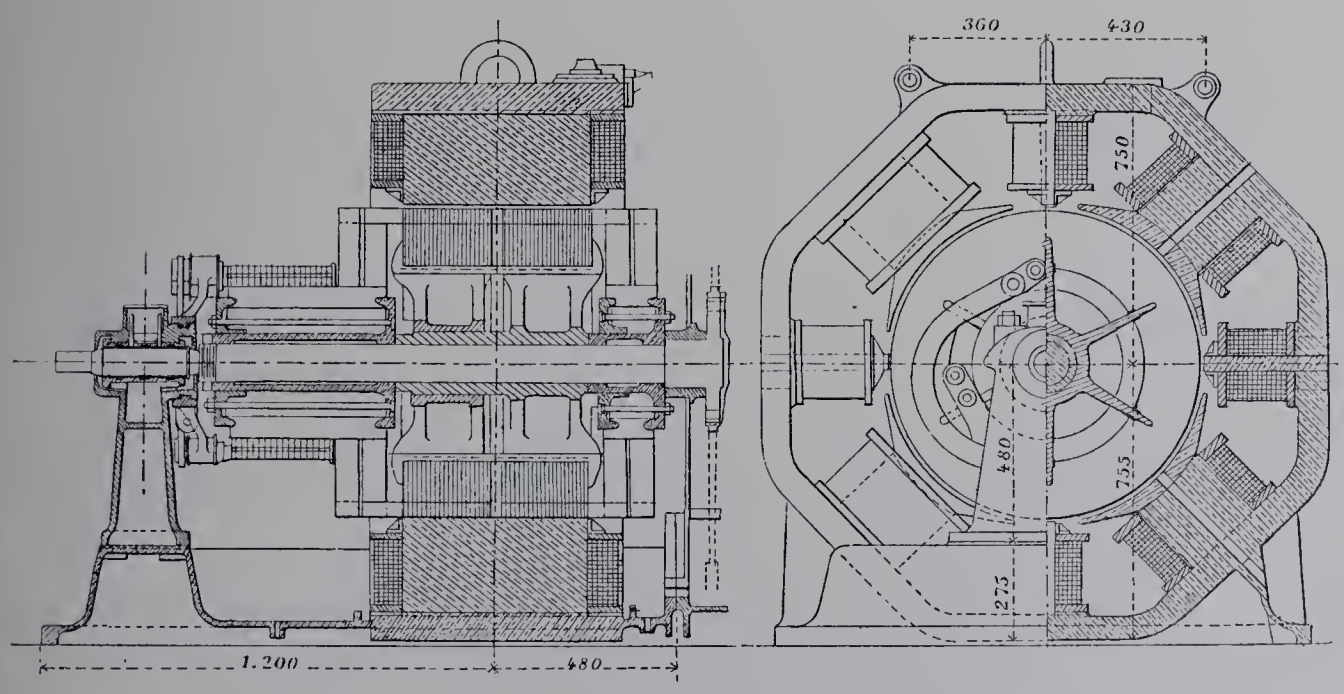


Fig. 3. — Dynamo de 132 kilowatts, à pôles auxiliaires, de MM. Sautter, Harlé et Cie.

du côté opposé au vrai collecteur. Enroulement tambour multipolaire série. Balais en charbon (fig. 3).

Compagnie internationale d'électricité de Liège. — La carcasse inductrice est en acier coulé d'une seule pièce, les paliers rapportés sur le bâti. Bobinage induit multipolaire série. Balais en charbon (fig. 4).

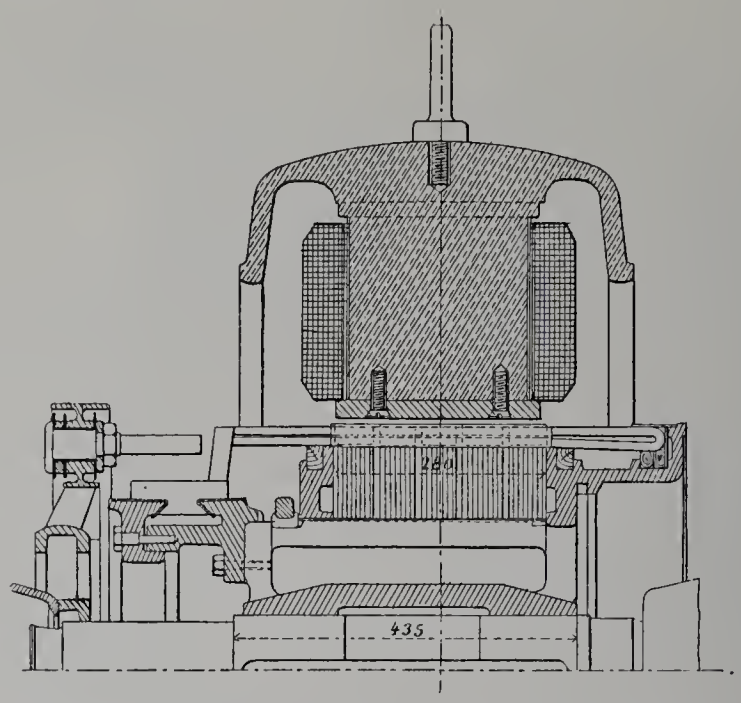


Fig. 4. — Dynamo de 135 kilowatts de la Compagnie internationale d'électricité, de Liège (Pieper).

Electrotechnische Industrie, ci-devant W. Smit et Cie (Slikkerveer). — Inducteur en deux parties. Épanouissements polaires rapportés. Arêtes arrondies pour augmenter l'entrefer dans le voisinage des cornes polaires. Enroulement induit multipolaire série, constitué par des lames de cuivres. Balais en charbon (fig. 5, p. 15).

Farcot frères et Cie. — Inducteur en deux parties. Pôles venus de fonte avec la carcasse. Trois paliers. Enroulement série-parallèle, avec quatre circuits en dérivation. Balais en charbon.

Ateliers du Creusot (Schneider et Cie). — *Dynamos de la série normale S.* Inducteurs en acier, coulés avec la carcasse, de forme polygonale. Noyaux polaires à fentes radiales en vue d'amoindrir le flux de réaction d'induit (fig. 6 et 7, p. 16).

Dynamo pour électrolyse. — A cause du grand débit (3 000 ampères), la dynamo comporte 12 pôles, afin de pouvoir multiplier les lignes de balais, et deux enroulements reliés à deux collecteurs distincts.

Il y a 120 balais en charbon par collecteur, ce qui correspond à 25 ampères par balai. Le calage des balais collecteurs se règle individuellement ou les deux à la fois (fig. 8, p. 17).

Dynamo à induit collecteur. — La particularité de cette dynamo réside dans l'uti-

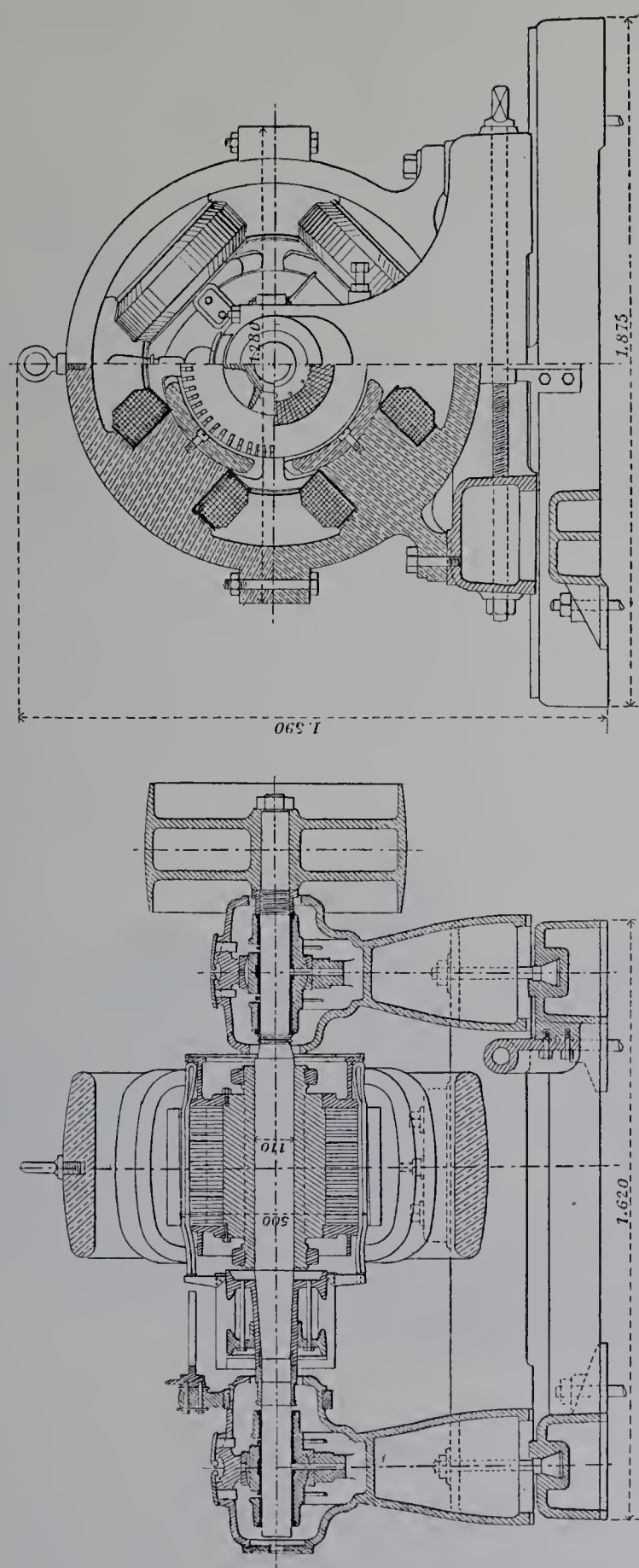


Fig. 5. — Dynamo de 65 kilowatts de l'Electrotechnische Industrie, de Slikkerveer.

lisation des extrémités de l'enroulement à barre comme collecteur de courant. Induit denté à rainures, à tambour. Le courant est recueilli directement sur les barres

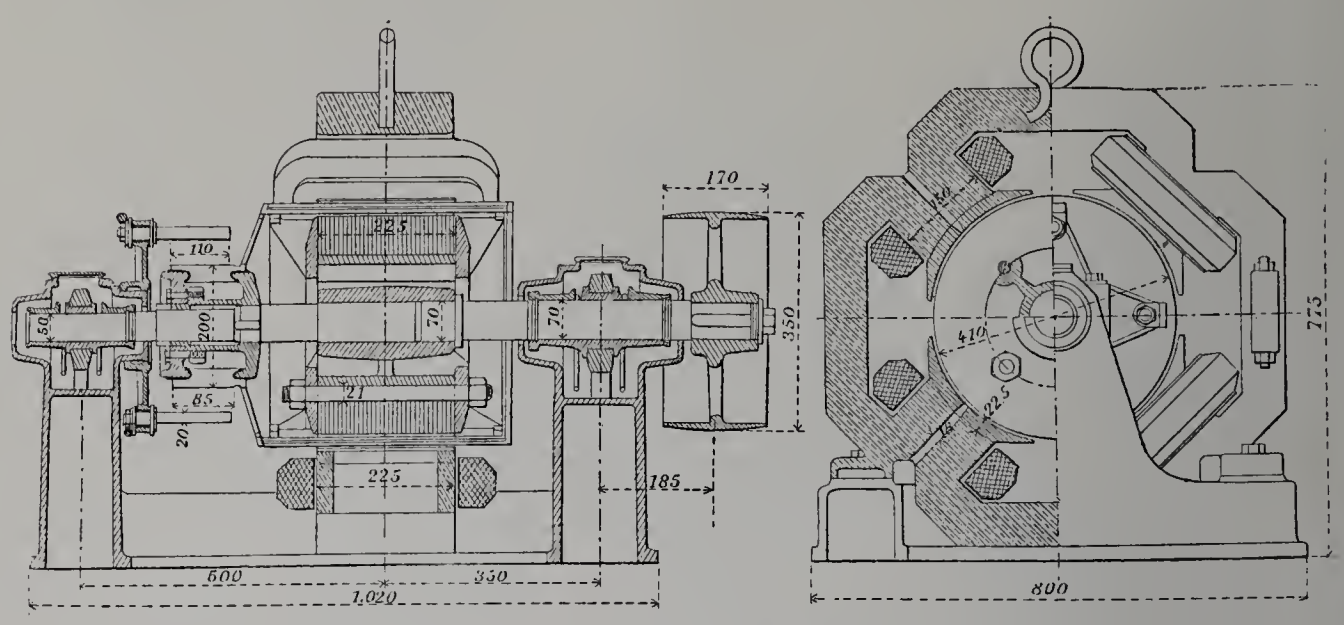


Fig. 6. — Dynamo de 20 kilowatts de MM. Schneider et Cie.

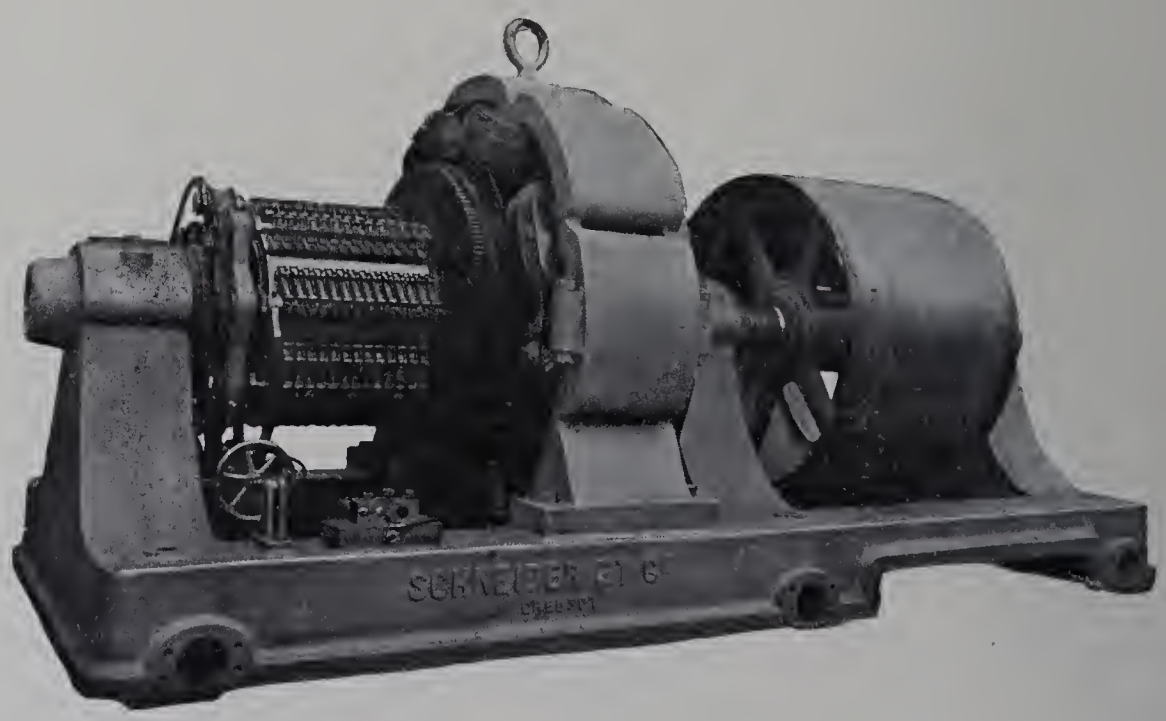


Fig. 7. — Dynamo Schneider et Cie, au Creusot. Vue d'ensemble.

induites. Les balais + sont disposés à une extrémité de l'enroulement, les balais — à l'autre extrémité. Ce dispositif éviterait, avec les dynamos à haute tension, la for-

mation d'arcs ou d'étincelles faisant le tour du collecteur (fig. 9, p. 18). L'obliquité des touches du collecteur ainsi réalisé par les barres de l'enroulement oblige à dis-

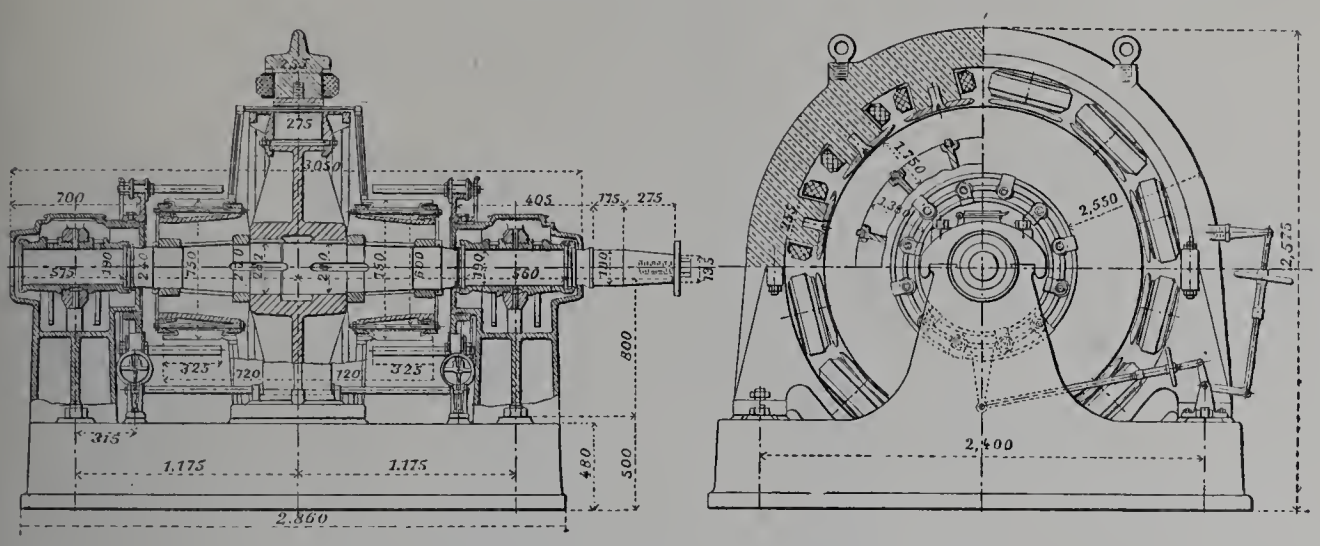


Fig. 8. — Dynamo de 330 kilowatts des ateliers du Creusot.

poser les balais obliquement. Construction ingénieuse, mais un peu délicate, surtout en cas d'usure ou de réparation.

Mather et Platt (Manchester). — Inducteurs en acier coulé évidés jusque dans le voisinage de l'entrefer, en vue de réduire le poids de la carcasse, d'augmenter l'induction et de diminuer la réaction d'induit. Les tôles de l'induit sont maintenues par des rainures en queue d'aronde, qui viennent se loger dans des bras radiaux venus de fonte avec le support. Enroulement multipolaire en quantité à barres (fig. 10, p. 19).

Société des Établissements Postel-Vinay. — Dynamo de traction montée sur le bout d'arbre du moteur. Carcasse en deux parties.

Les tôles induites sont reliées par des boulons passant dans des trous ménagés dans des projections s'engageant dans les rainures du support.

Compagnie Thomson-Houston. — Dispositions analogues à celles de la machine précédente. Enroulement multipolaire en quantité.

Scott et Mountain (Newcastle-on-Tyne). — Épanouissements polaires fondus avec les inducteurs. Bobines inductrices sur carcasses en bronze. Induit multipolaire en quantité.

Société l'Éclairage électrique. — Couronne inductrice en deux parties, fixée sur une surface cylindrique, pour pouvoir visiter la partie inférieure en l'amenant à la partie supérieure. Inducteurs à fente radiale. Pièces polaires rapportées. Induit multipolaire en quantité. Balais en charbon à pression constante, indépendante de l'usure (fig. 11, p. 19).

IMPRIMERIE NATIONALE.

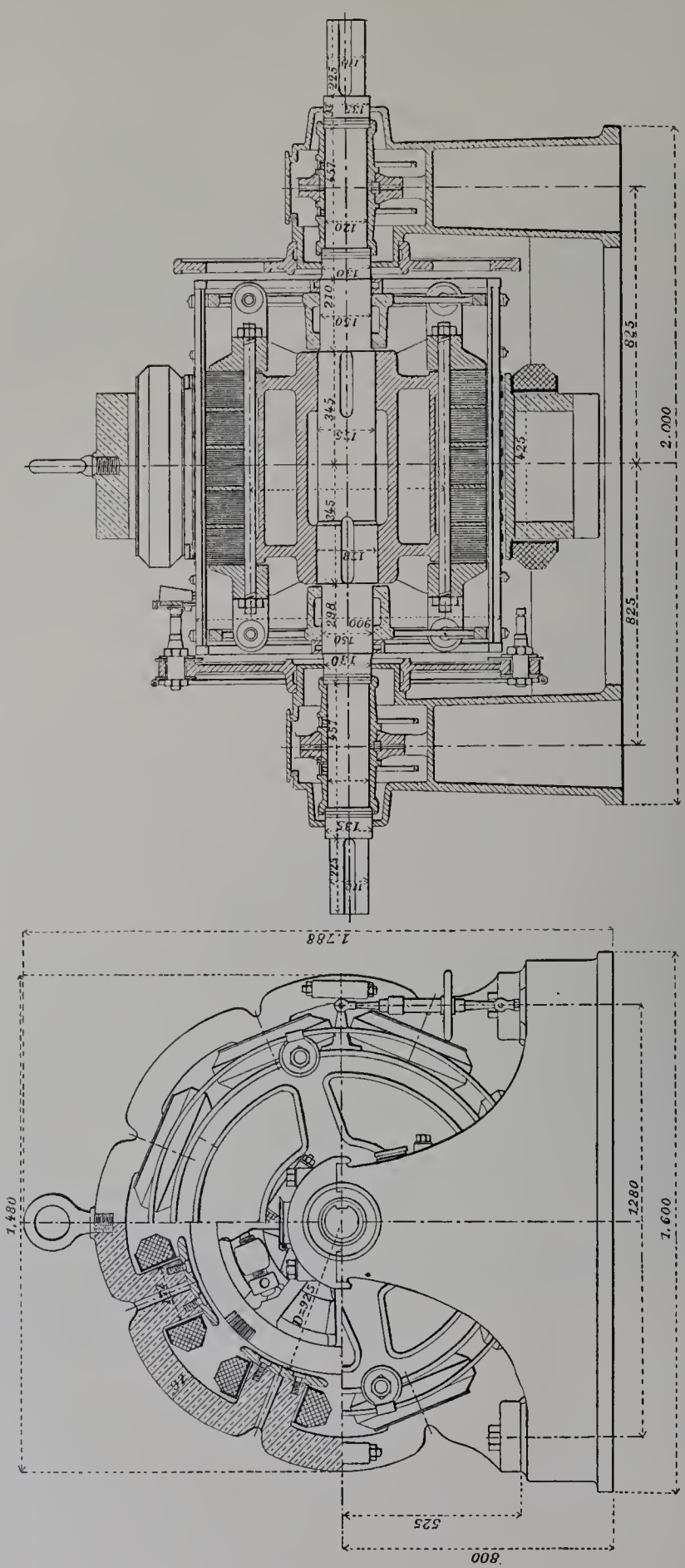


Fig. 9. — Dynamo à induit denté collecteur de MM. Schneider et Cie.

Ateliers d'Oerlikon (Suisse). — Carcasse inductrice en deux parties. Noyaux inducteurs de section circulaire avec épanouissements polaires rectangulaires venus de fonte avec les noyaux, vissés eux-mêmes sur des méplats ménagés dans la carcasse. Enroulement induit multipolaire, tambour séries-parallèle (fig. 12, p. 20).

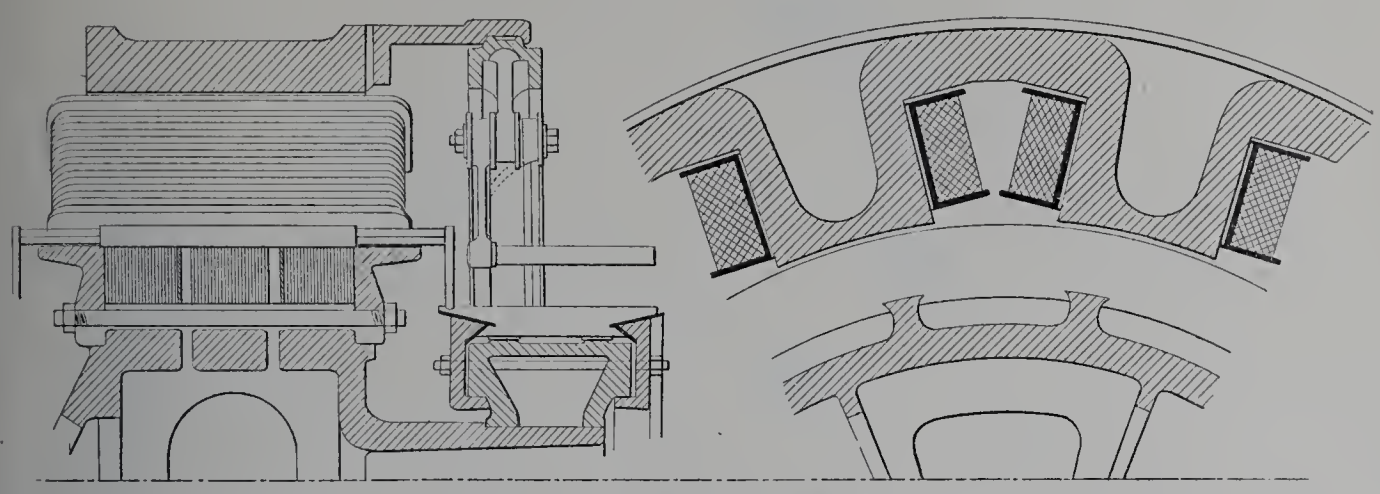


Fig. 10. — Dynamo de 350 kilowatts de MM. Mather et Platt.

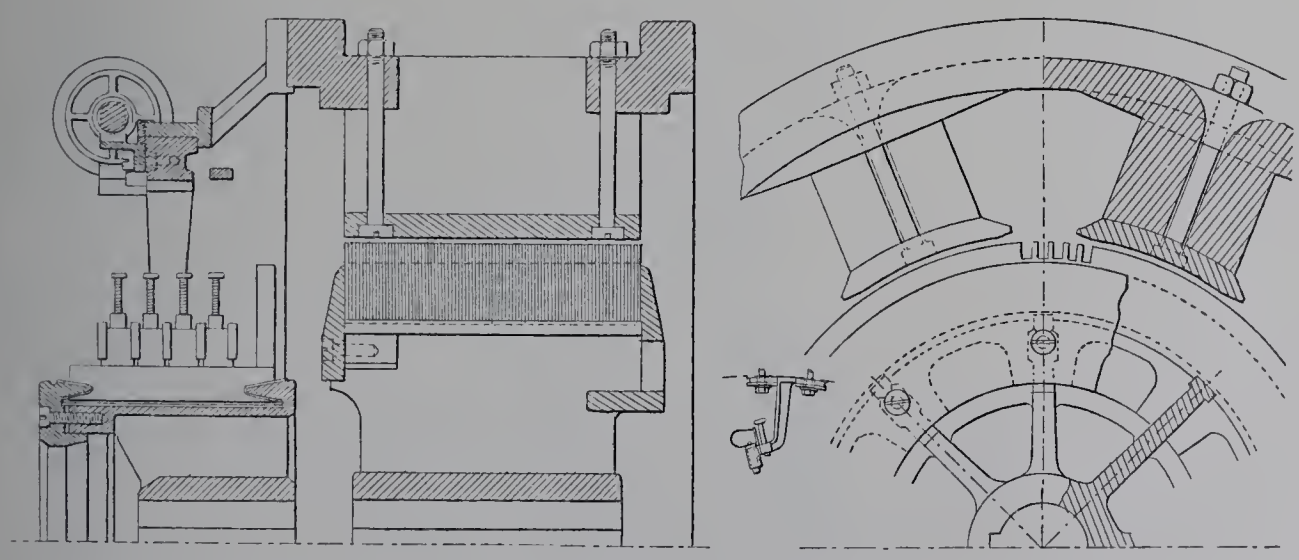


Fig. 11. — Dynamo de 50 kilowatts de la Société «l'Éclairage électrique».

INDUITS À ENCOCHES.

Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge. — Les inducteurs forment douze circuits magnétiques indépendants en fer à cheval, réunis entre eux par une carcasse en deux parties percée d'ouvertures circulaires pour la ventilation et entourant les pôles pour protéger mécaniquement les enroulements. Chaque pôle est formé de deux noyaux magnétiques appartenant à deux circuits magnétiques voisins, réunis par une pièce polaire

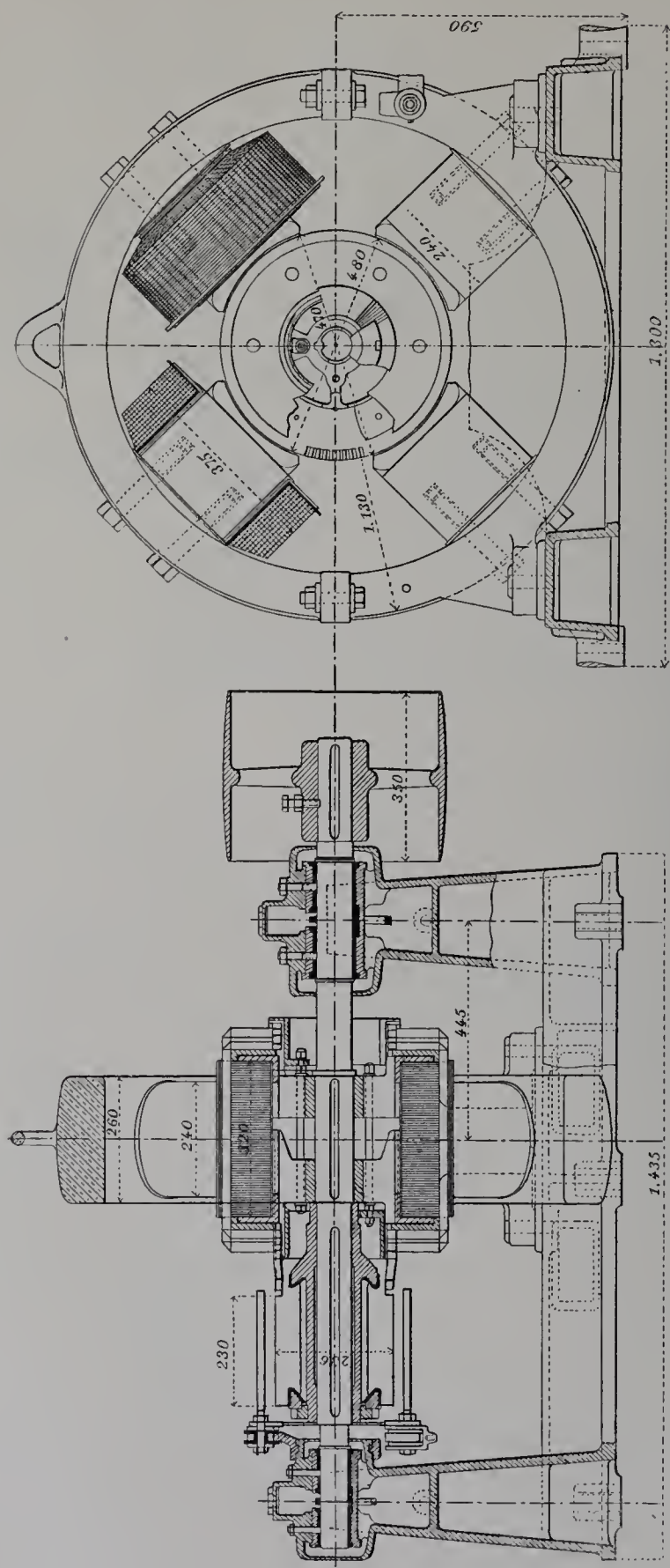


Fig. 12 — Dynamo de 55 kilowatts des Ateliers d'Oerlikon.

unique, présentant un étranglement en son milieu entre les deux noyaux, offrant ainsi une grande réluctance au flux transversal de réaction d'induit. Enroulement induit

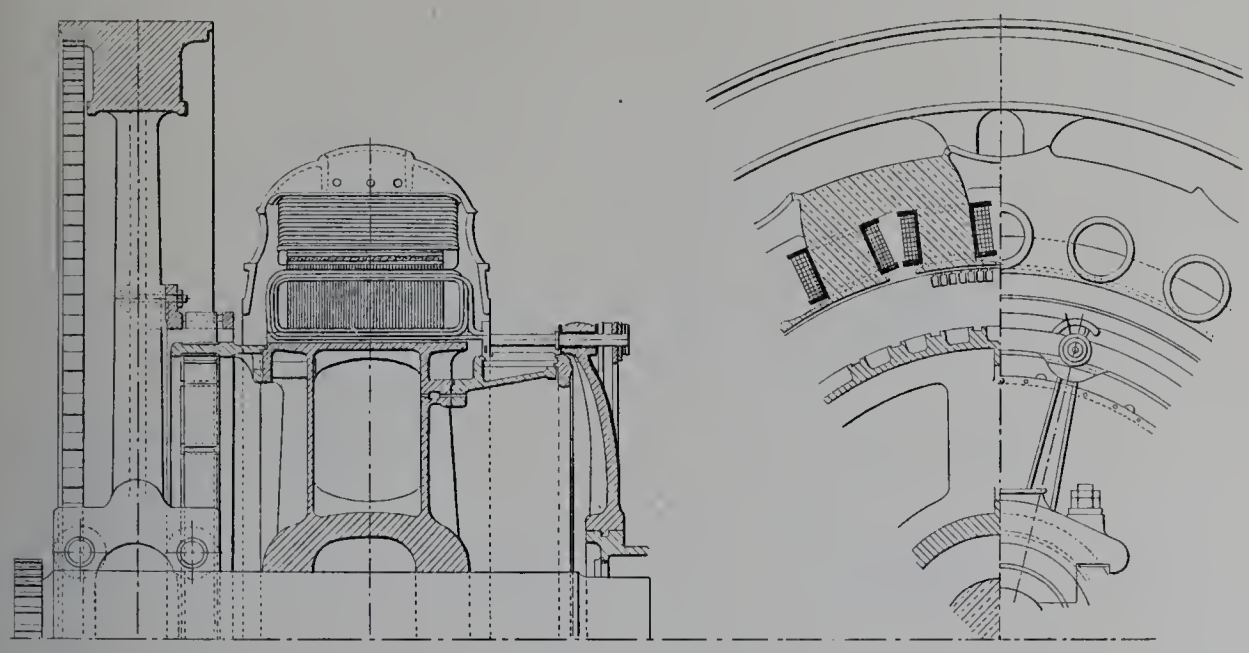


Fig. 13. — Dynamo de 350 kilowatts de la Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge.

Gramme-Pacinotti dans des rainures très peu ouvertes. Très petit entrefer (5 millimètres) [fig. 13 et 14].

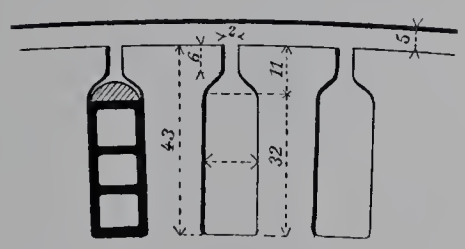


Fig. 14. — Encoches de l'induit de la dynamo de la Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge.

Maison Bréguet. — Dynamo de 100 kilowatts actionnée par turbines de Laval. Inducteurs type cuirassé à quatre pôles, dont deux seulement sont bobinés.

Les pôles bobinés sont évidés et les pôles bobinés ménagent une rainure radiale, en vue de réduire la réaction d'induit. La turbine actionne deux dynamos. Un train d'engrenages à chevrons, réduit la vitesse angulaire de 9 000 à 780 tours par minute (fig. 15, p. 22).

Electrotechnische Industrie de Slikkerveer (Pays-Bas). — Couronne inductrice en acier coulé en deux parties. La partie inférieure porte des pattes par lesquelles la dynamo repose sur ses plaques de fondation qui portent des oreilles munies de vis, de façon à permettre un réglage de l'entrefer. Pôles inducteurs circulaires, rapportés sur des bossages dressés. Les encoches de l'induit sont très légèrement fermées, les rebords

des dents ne servant qu'à maintenir des languettes de bois qui serrent les conducteurs. Bobinage tambour multipolaire en quantité (fig. 16 et 17, p. 23).

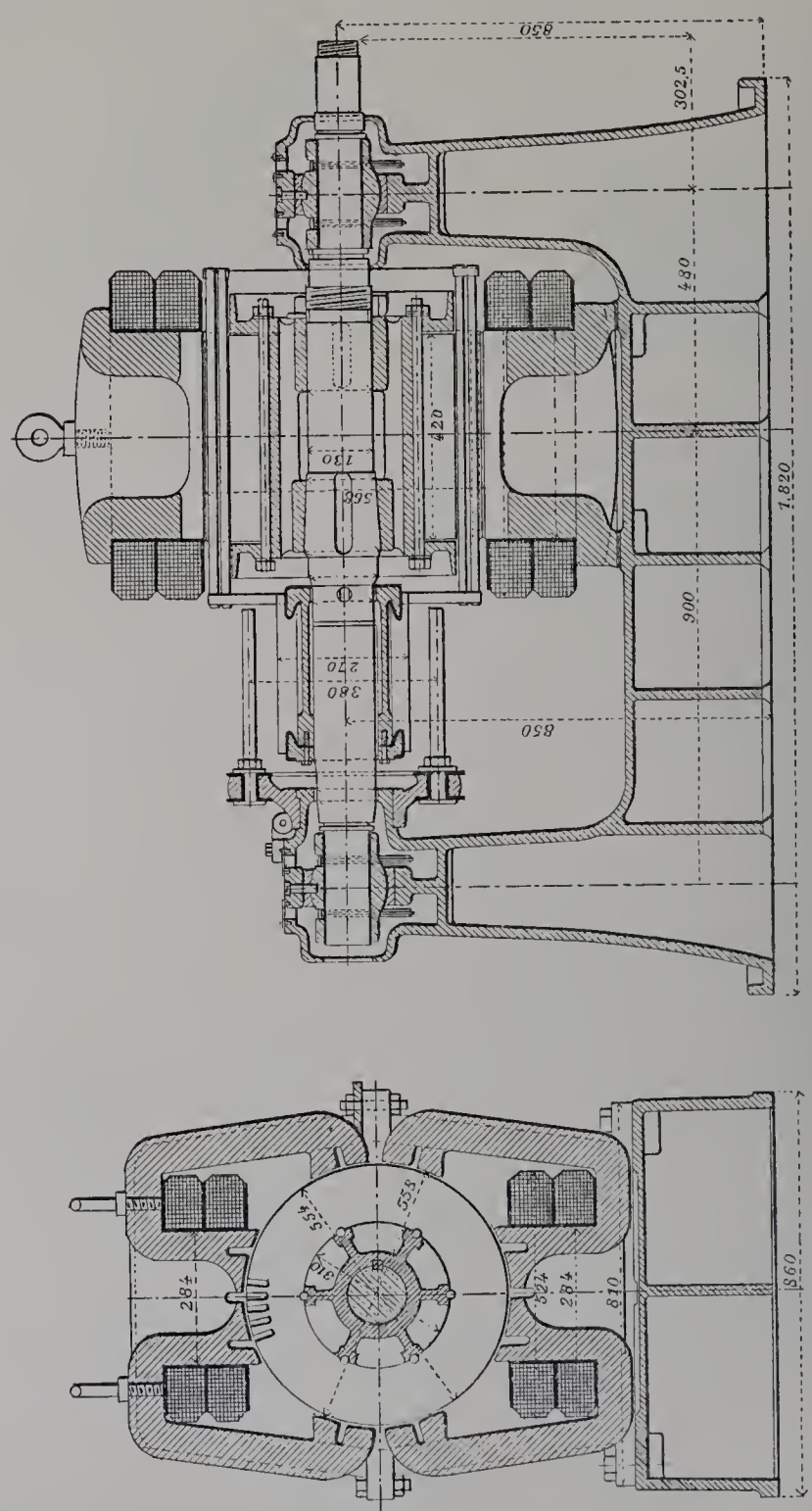


Fig. 15. — Dynamo de 100 kilowatts de la Maison Breguet.

Ganz et Cie (Budapest). — Dynamos, système de Kandó, caractérisées par une grande puissance spécifique et une faible réaction d'induit. Carcasse inductrice en deux parties. Pôles en acier à section circulaire maintenus par un boulon qui traverse

complètement la carcasse. Pièces polaires vissées sur les pôles ont la forme d'une arête de poisson et présentent des dents qui vont en se rétrécissant depuis le noyau

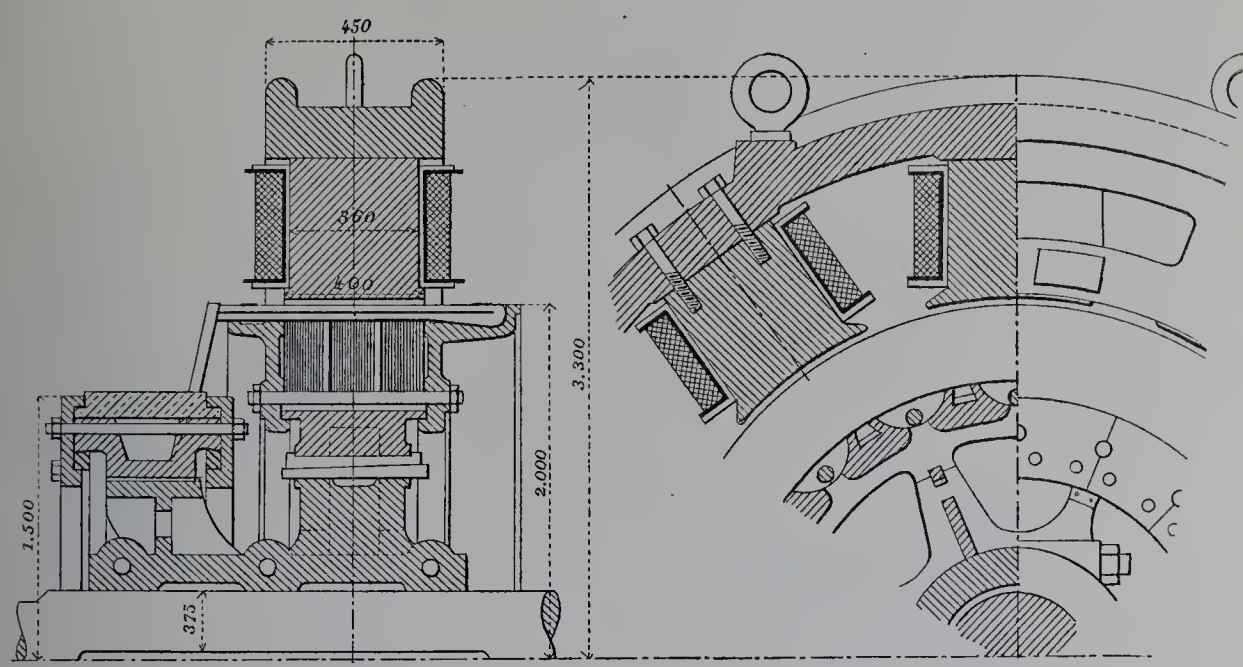


Fig. 16. — Dynamo de 350 kilowatts de MM. W. Smit et Cie, de Slikkerveer.

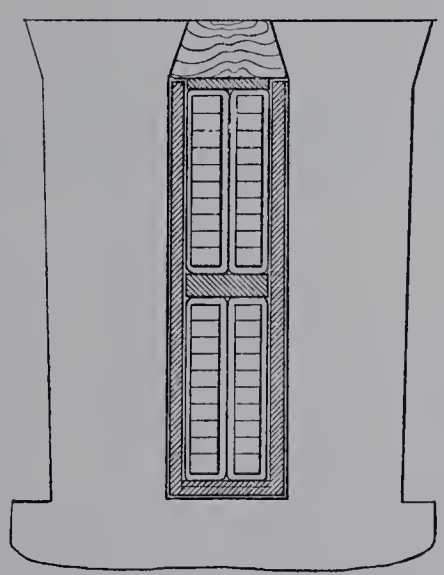


Fig. 17. — Encoche de l'induit d'une dynamo de 350 kilowatts, de MM. W. Smit et Cie, de Slikkerveer.

jusqu'à l'extrémité des pièces polaires. L'entrefer va en croissant légèrement de l'intérieur des cornes polaires vers l'extérieur. On obtient, par cet artifice, un flux graduellement décroissant sous les cornes polaires, ce qui permet d'employer un arc

polaire plus grand, en même temps que l'on réduit la réaction d'induit en accroissant la réluctance (fig. 18).

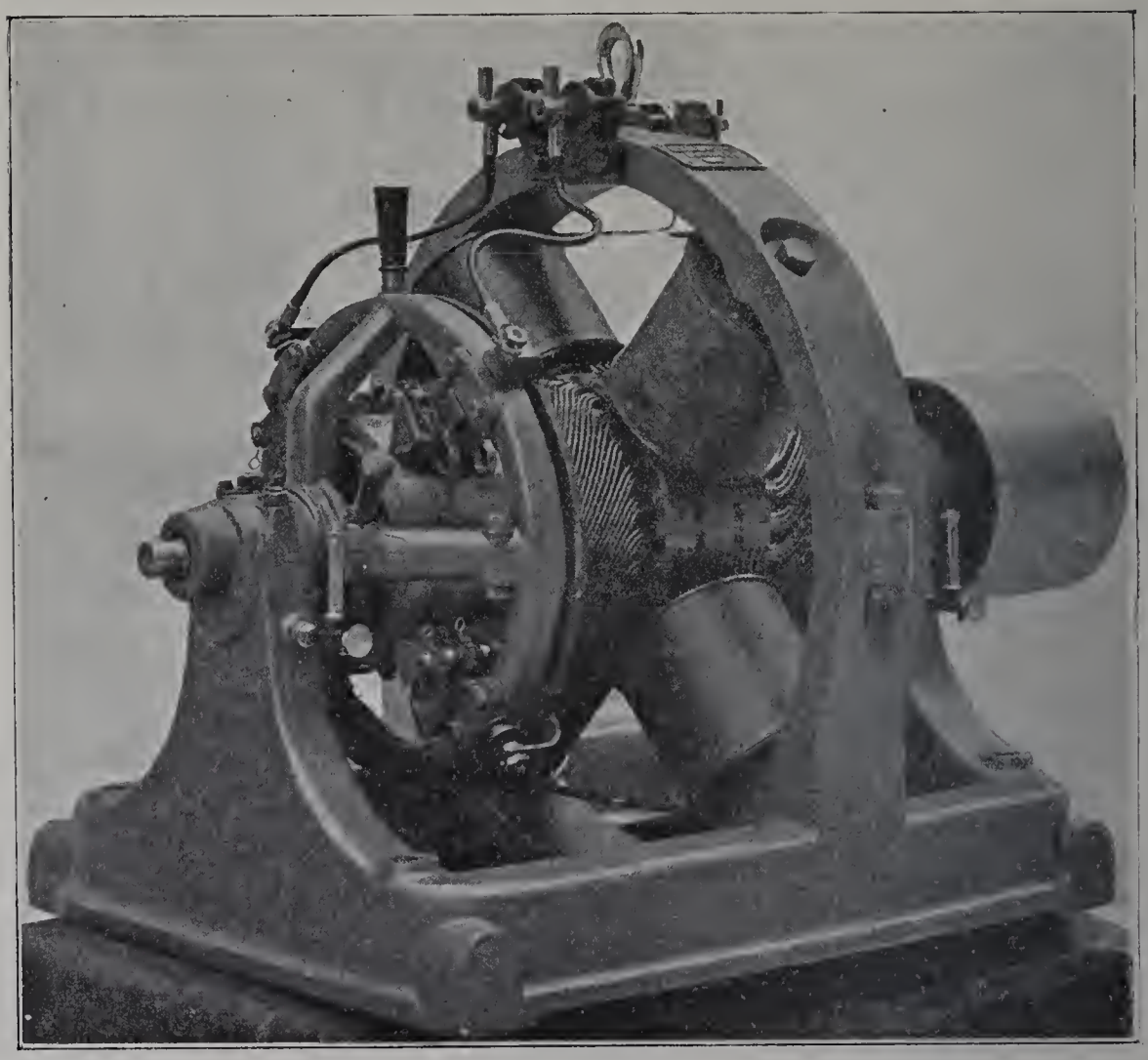


Fig. 18. — Dynamo de 18 kilowatts, à inducteurs feuilletés, de la maison Ganz et Cie, de Budapest.

DYNAMOS À INDUIT LISSE.

INDUCTEURS EXTÉRIEURS.

Daydé et Pillé. — Compagnie générale d'électricité de Creil. — Carcasse inductrice polygonale en deux parties, pôles rectangulaires venus de fonte avec la carcasse. Pièces polaires en acier coulé rapportées. Bord des pièces polaires légèrement incliné pour adoucir les variations de flux. Induit lisse en tambour. Bobinage imbriqué en quantité. Conducteurs en câbles toronnés en fils fins, rendus rectangulaires à la presse et réunis au collecteur par des lames de cuivre pliées en V. Les conducteurs sont maintenus sur l'induit par des frettages en fil d'acier (fig. 19, p. 25).

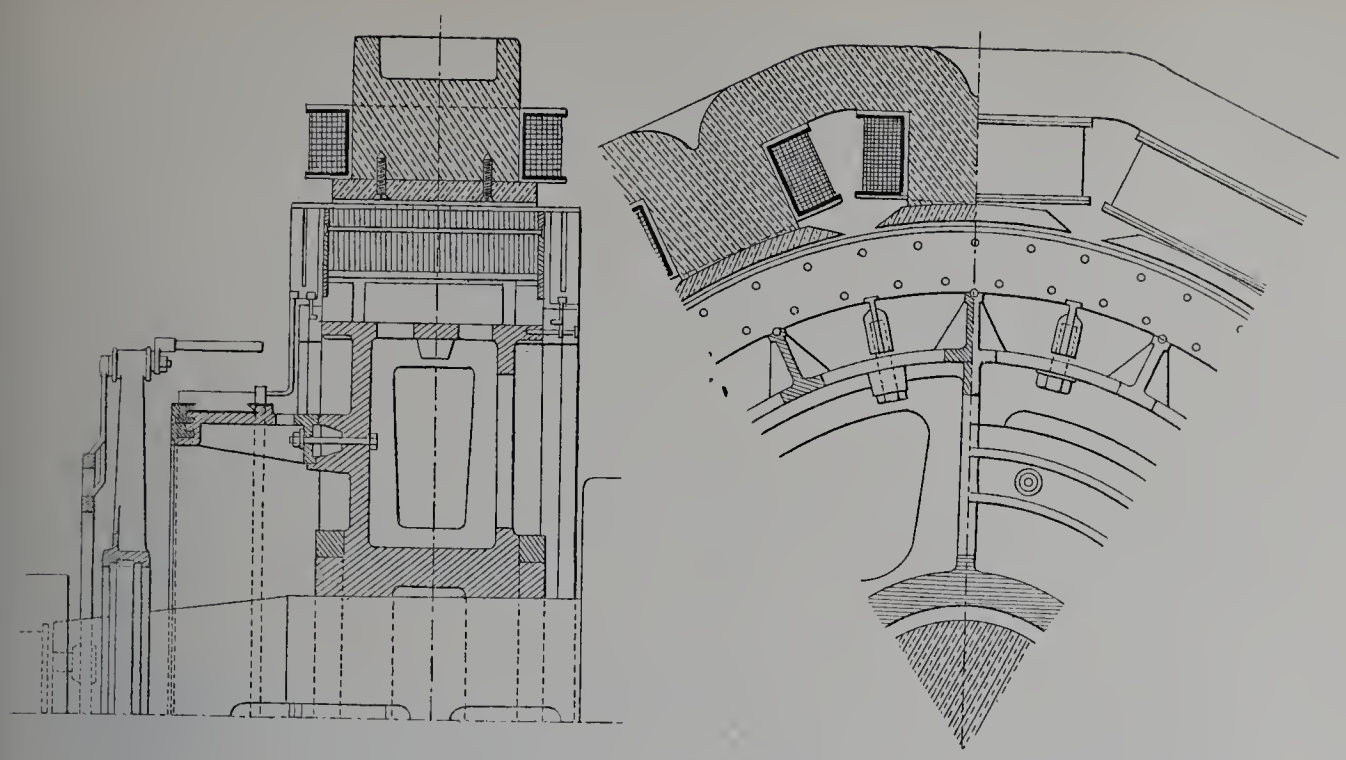


Fig. 19. — Dynamo de Schuckert de 682 kilowatts de la Compagnie générale d'électricité de Creil.

Fig. 20. — Dynamo Schuckert et Cie. Vue du côté du collecteur.

Schuckert et Cie (Nuremberg). — Construction analogue à la précédente. La figure 20, page 25, représente cette dynamo du côté du collecteur.

Thury (Ateliers du Creusot). — Type à inducteur hexagonal et à pôles conséquents formés de six prismes en acier réunis par les pôles également en acier, ajustés et rodés sur les prismes et fixés à l'aide de vis. La carcasse est fixée au bâti par deux supports en bronze. Ces dynamos sont caractérisées par un grand diamètre d'induit et une faible vitesse angulaire.

Société nouvelle des établissements Decauville aîné (Petit-Bourg). — Construction analogue à celle des dynamos Thury, des ateliers du Creusot. La figure 21 indique les détails de cette construction.

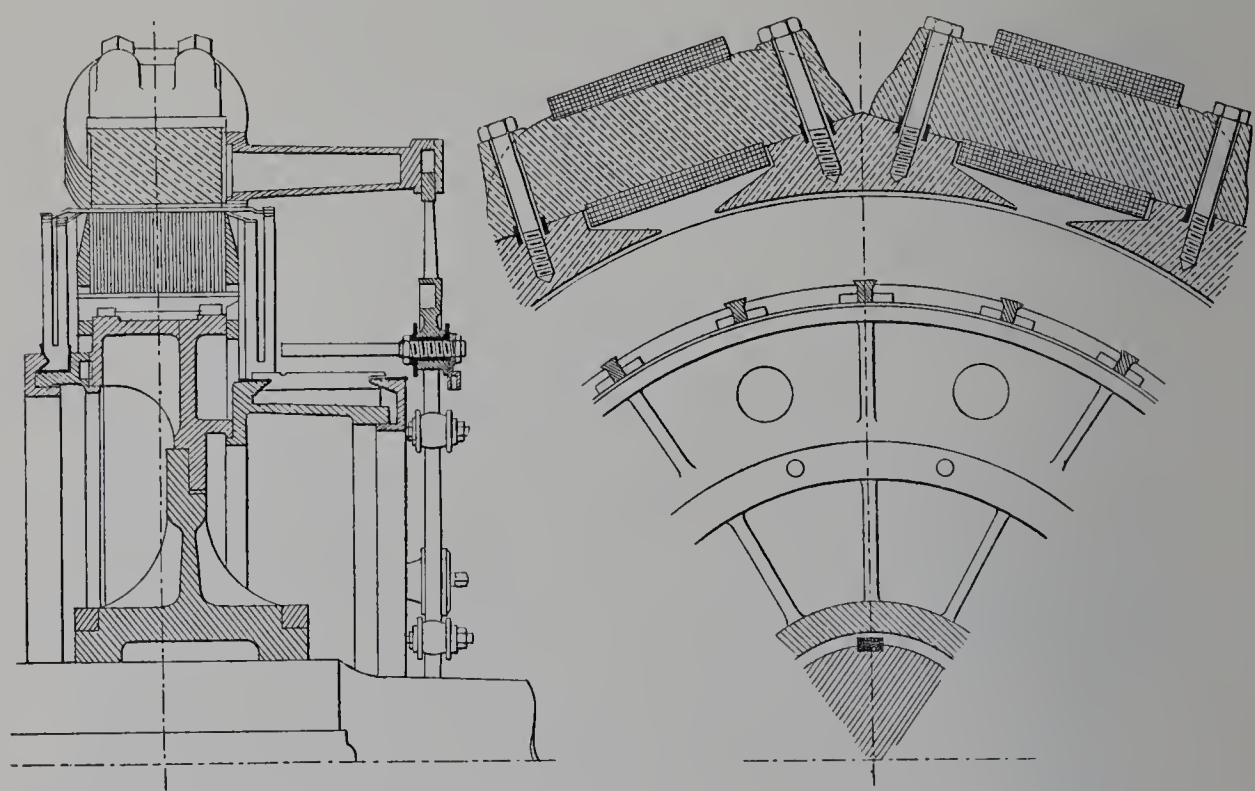


Fig. 21. — Dynamo de 400 kilowatts de la Société nouvelle des établissements Decauville aîné de Petit-Bourg.

Société « l'Éclairage électrique ». — Dynamo *Labour*. Couronne inductrice en deux parties composées chacune de six pièces assemblées chacune par deux nervures. Les intervalles ménagés dans la carcasse correspondent à des fentes radiales dans les noyaux polaires, en vue de réduire la réaction d'induit. La couronne inductrice montée sur deux glissières permet de déplacer axialement le système inducteur pour entretenir ou réparer l'induit sans démonter la carcasse (fig. 22, p. 27).

L'induit est fixé sur la lanterne par des bras en bronze à section en forme de T sur les branches desquels s'appuient des projections ménagées sur les tôles. Des clavettes en fibre empêchent le déplacement de l'enroulement induit.

Enroulement en anneau, une seule couche, câbles en fils fins. Bobinage en parallèle.

La dynamo peut être surchargée sans échauffement anormal et sans étincelles nuisibles au collecteur.

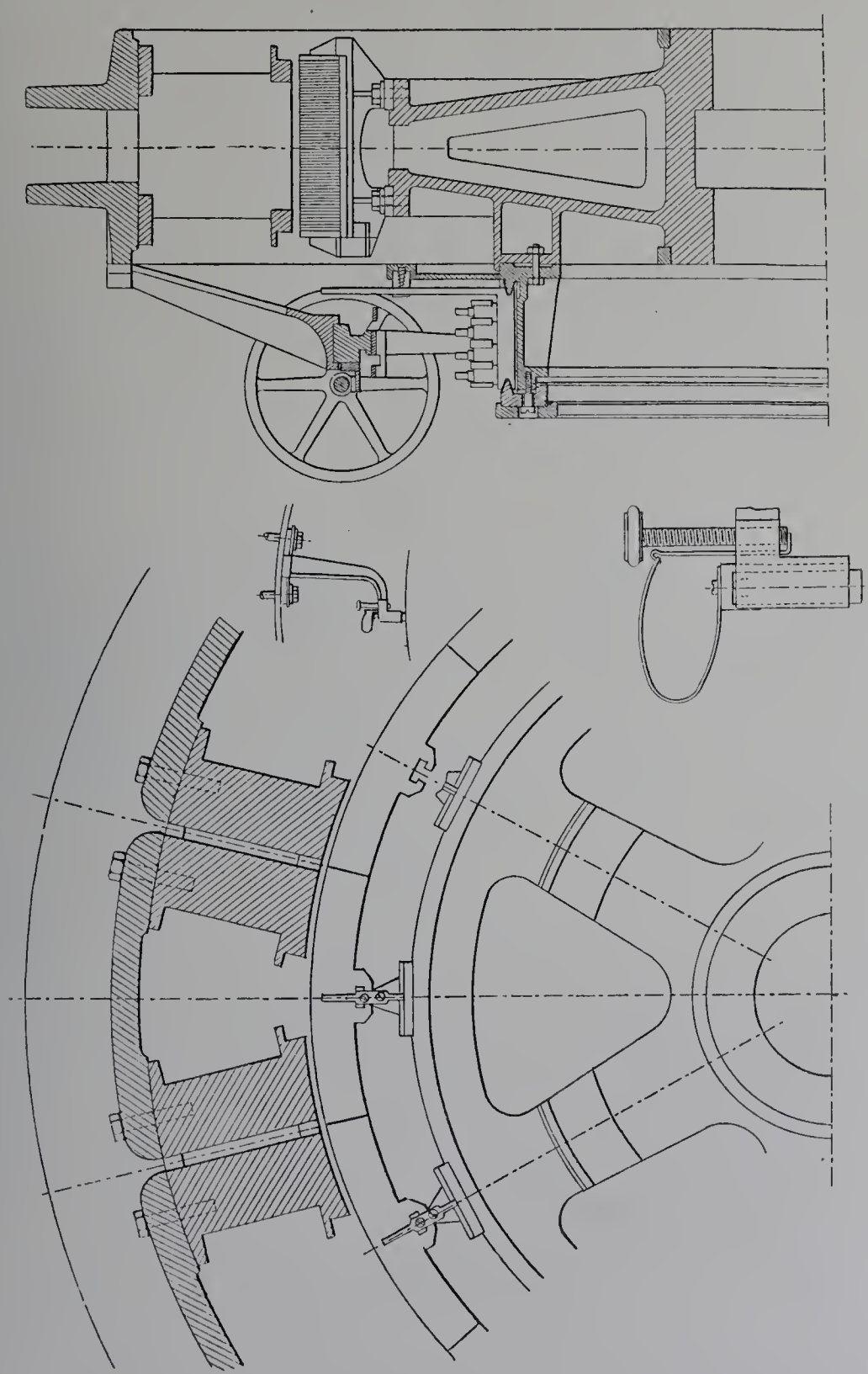


Fig. 22. — Dynamo de 200 kilowatts de la Société «L'Éclairage électrique».

Fives-Lille. — Carcasse inductrice fondue avec noyaux polaires. Épanouissements polaires en fer forgé. Enroulement multipolaire, tambour, enroulement en parallèle.

INDUCTEURS INTÉRIEURS.

Société alsacienne de constructions mécaniques. — Dynamo à induit en anneau de 750 kilowatts, dite *sans collecteur,* avec pôles inducteurs intérieurs, dans laquelle le

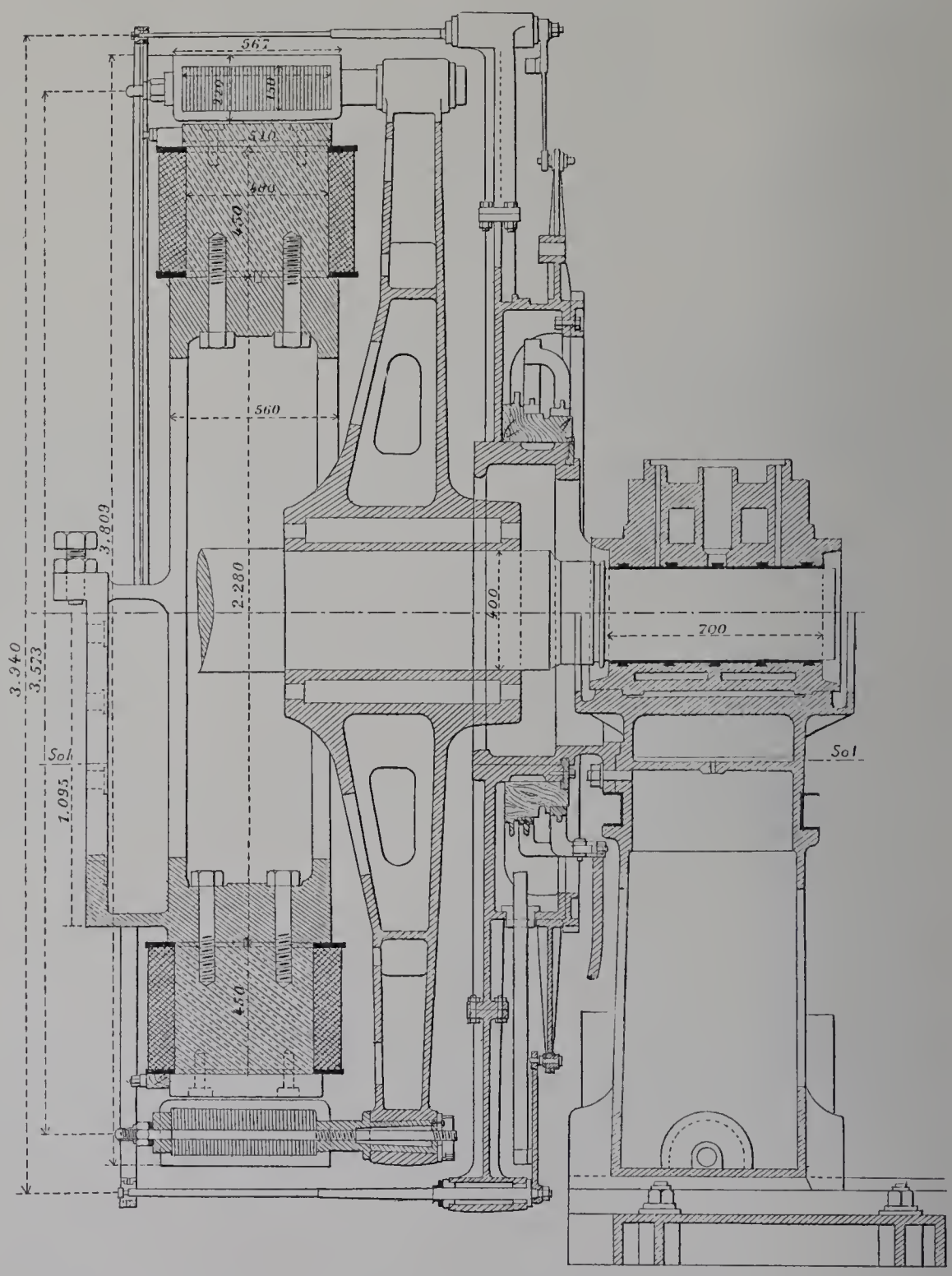


Fig. 23. — Dynamo de 750 kilowatts de la Société alsacienne de constructions mécaniques.

courant est recueilli par des balais métalliques répartis sur la périphérie de l'enroulement. Cette disposition se recommande au point de vue de la commutation, car elle

permet d'avoir un collecteur présentant un très grand nombre de touches, en nombre égal à celui des spires, sans construction spéciale.

Les machines à pôles intérieurs sont établies pour de faibles vitesses angulaires et se prêtent tout spécialement à l'accouplement direct avec des moteurs à vapeur; le système inducteur est alors fixé au bâti du moteur, et l'induit claveté sur l'arbre moteur. Pour soutenir l'extrémité de cet arbre, on munit généralement la machine à vapeur d'un palier extérieur, indépendant; ce palier, monté sur glissières, peut être déplacé dans le sens de l'axe, assez loin pour permettre de retirer l'induit, dans le cas de réparations éventuelles, sans qu'il soit nécessaire de démonter la machine à vapeur. L'induit de la dynamo, en raison de son grand diamètre et de son poids considérable, agit comme régulateur sur le mouvement de la machine à vapeur et permet, dans certains cas, de supprimer le volant (fig. 23, p. 28).

L'induit est supporté en porte-à-faux par une étoile en fonte à 39 bras, clavetée sur l'arbre du moteur, entre les deux paliers de la dynamo. Chaque bras porte un manchon en bronze isolé de la fonte dans lequel est fixée la tige supportant les tôles induites.

DYNAMOS À INDUCTEUR MIXTE.

Ces dynamos ont une carcasse en fonte et des pôles et des épanouissements polaires en métal plus magnétique. Leur caractéristique est plus arrondie, elles donnent un peu plus de chute de tension que les dynamos à inducteur en acier coulé; elles sont aussi plus lourdes et plus coûteuses au point de vue du transport.

Pour réduire la réluctance des joints des pôles et de la carcasse, on encastre les pôles, on agrandit la section au droit du joint, ou on noie les pôles en fer forgé dans la carcasse en fonte au moment de la coulée.

PÔLES INDUCTEURS FEUILLETÉS.

Siemens et Halske (Vienne). — Dynamo de traction susceptible de surcharge. Carcasse en fonte en deux parties. Système inducteur à centrage. Pôles inducteurs feuilletés en tôle de 2 millimètres d'épaisseur, fixés sur la carcasse par des clavettes à section en queue d'aronde. Entrefer dyssymétrique : minimum (8 millimètres) sous la corne polaire d'entrée, maximum (12 millimètres) sous la corne polaire de sortie. La dyssymétrie du champ ainsi produit diminue avec la charge et disparaît sensiblement à pleine charge (fig. 24, p. 30).

L'induit est claveté sur le volant du moteur à vapeur qui lui sert de support. A cet effet, l'induit est monté sur un double tambour portant chacun un anneau, et c'est entre les deux anneaux que sont serrées les tôles de l'induit. Induit bobiné en séries-parallèle avec 10 circuits en quantité. Les porte-balais peuvent être inclinés sur le collecteur, de façon à faire varier à volonté le recouvrement de chaque ligne de balais.

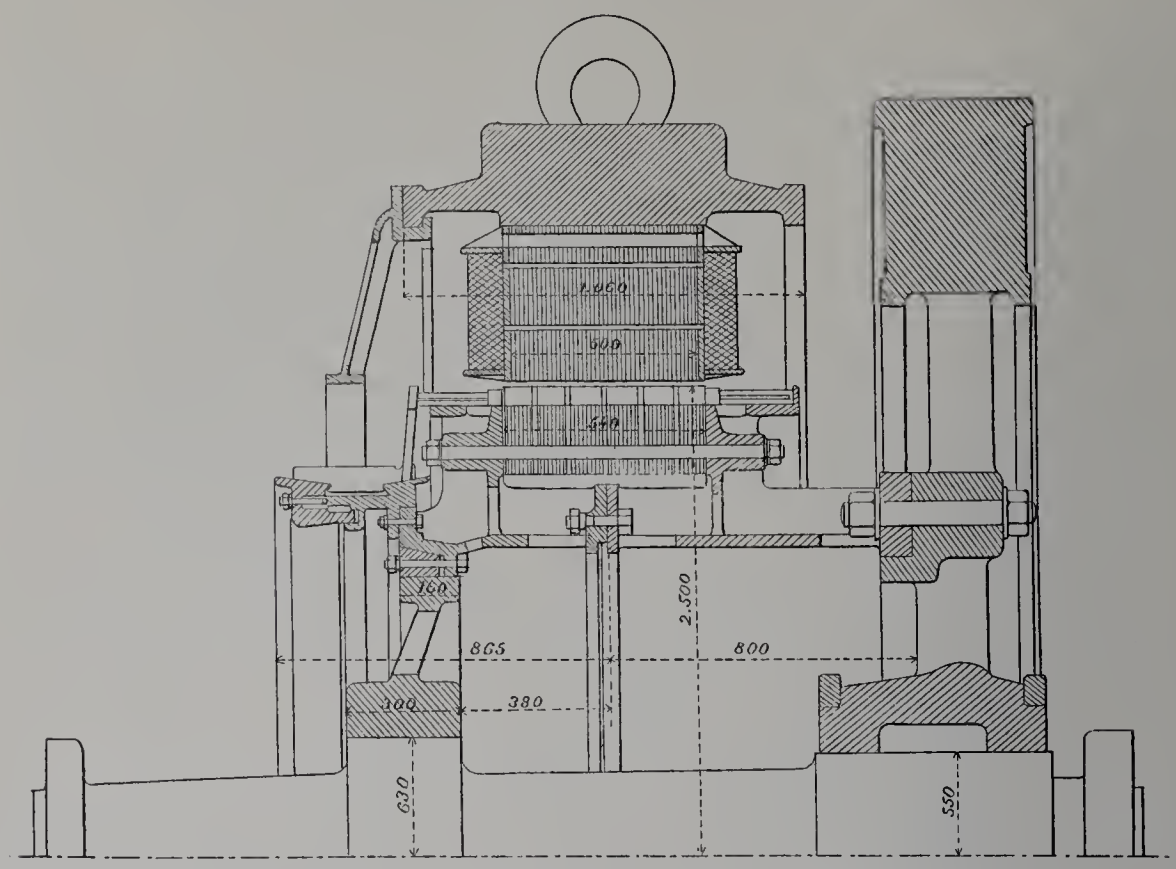


Fig. 24. — Dynamo de 1 000 kilowatts de MM. Siemens et Halske, de Vienne.

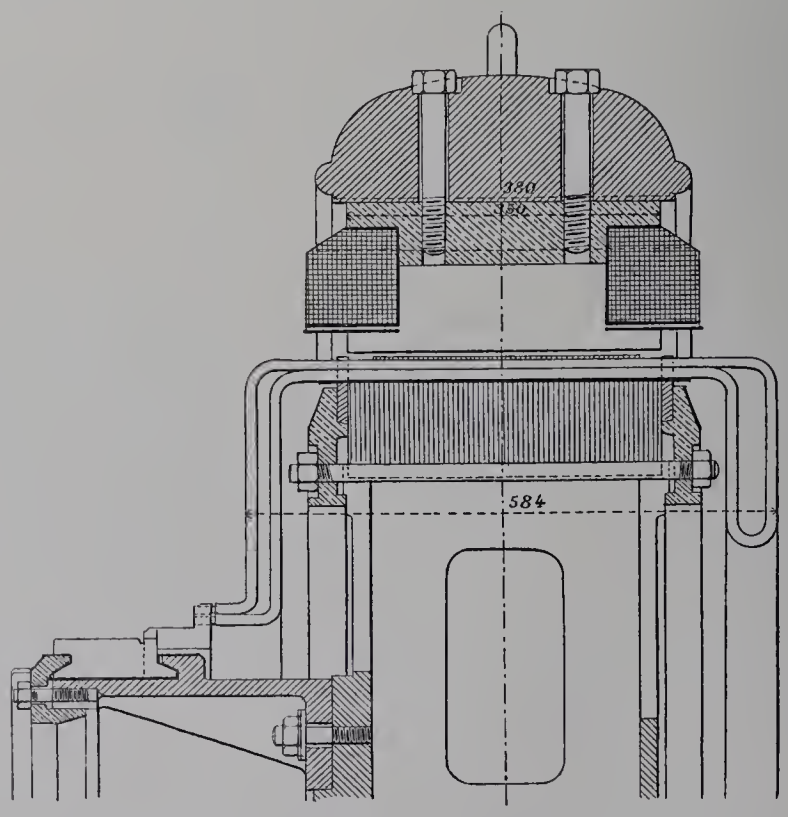


Fig. 25. — Dynamo de 225 kilowatts de MM. Alioth et Cie, de Bâle.

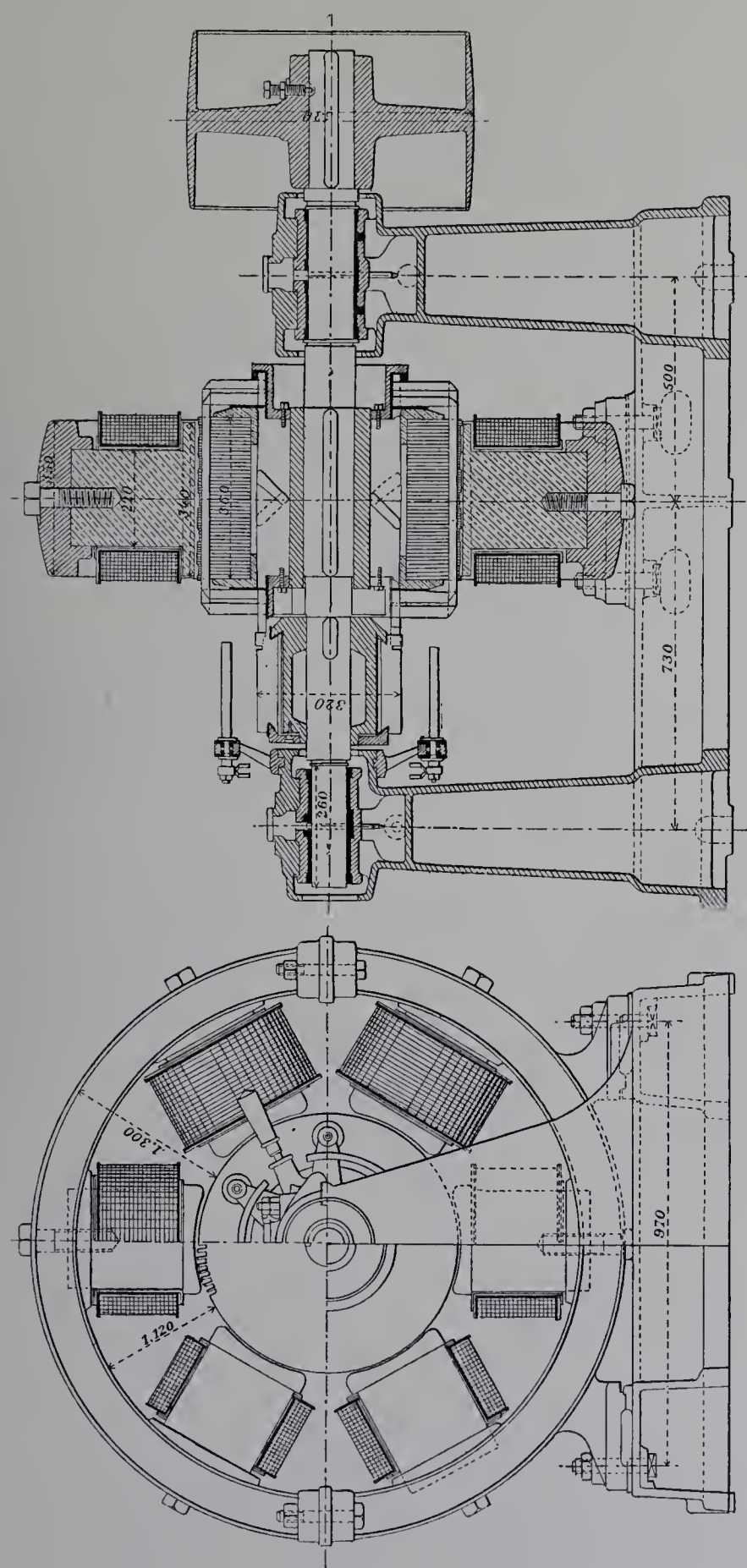


Fig. 26. — Dynamo de 70 kilowatts de MM. J.-J. Rieter et Cie, de Winterthur.

PÔLES INDUCTEURS EN ACIER COULÉ.

Société anonyme d'électricité de Francfort-sur-le-Mein (ci-devant Lahmeyer et Cie). — Carcasse inductrice en fonte en deux parties. Noyaux polaires circulaires en acier avec épanouissements polaires venus de fonte avec les noyaux. Induit tambour multipolaire en quantité, enroulement Mordey, en vue d'éviter le décalage des balais et les étincelles au collecteur à toutes charges et à toutes tensions. Induit à rainures. Bobines sur gabarits. Conducteurs non frettés sur l'induit, maintenus par des segments de laiton vissés sur les tôles. L'induit n'est supporté que par un seul palier et son arbre est manchonné rigidement sur celui du moteur à vapeur.

Alioth et Cie (Bâle). — Carcasse inductrice en fonte en deux parties, la partie inférieure venue avec le bâti. Paliers rapportés. Inducteurs de section carrée vissés sur la carcasse. Noyaux munis d'une fente radiale. Épanouissements polaires venus de fonte avec le noyau. Induit denté, tambour, multipolaire, séries-parallèle. Balais de même polarité en communication avec un anneau collecteur sur lequel sont fixés les câbles de prise de courant (fig. 25, p. 30).

J.-J. Rieter et Cie (Winterthur). — Carcasse inductrice en fonte en deux parties. Pôles inducteurs de section circulaire avec épanouissements rectangulaires venus de fonte. Pôles encastrés dans la couronne inductrice pour réduire la réluctance, fixés par un boulon. Induit tambour à rainures, multipolaire, en quantité (fig. 26, p. 31.)

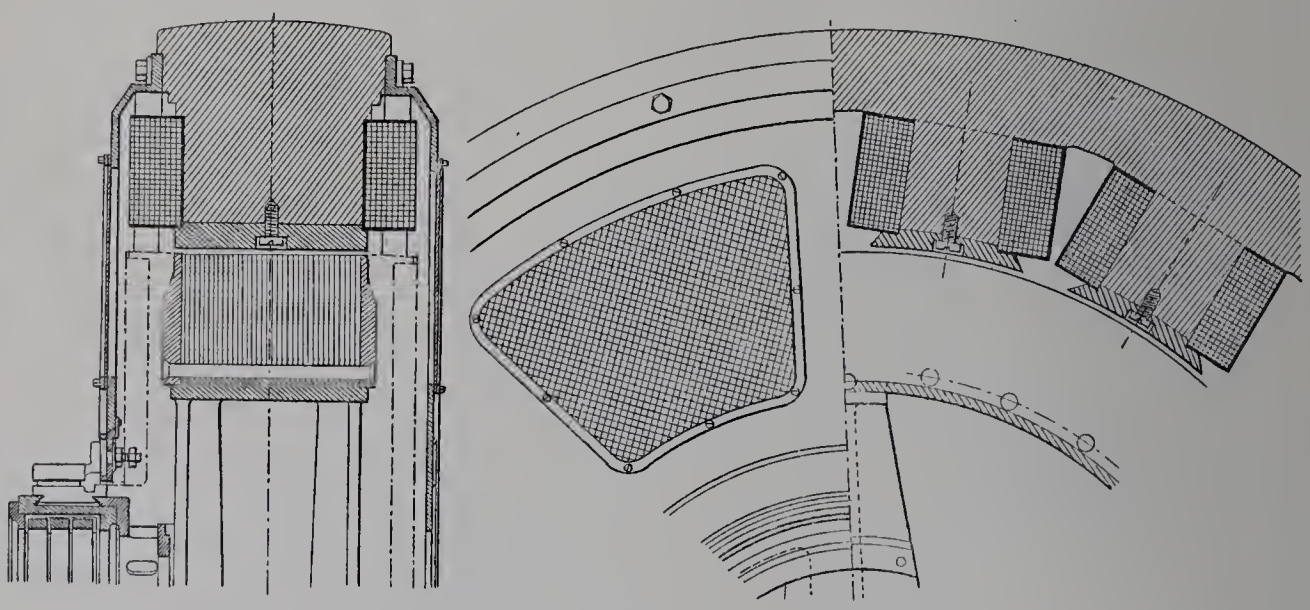


Fig. 27. — Dynamo de 400 kilowatts de M. Bacini, de Gênes.

PÔLES INDUCTEURS EN FER FORGÉ.

Société Bacini (Gênes). — Couronne en fonte en deux parties coulée autour des noyaux polaires à section rectangulaire en fer forgé. Épanouissements polaires en fer forgé fixés par une vis. Induit à rainures, multipolaire, en quantité (fig. 27).

DYNAMOS À INDUCTEURS EN FONTE.

Ce type de dynamo est de plus en plus abandonné à cause de son poids, de sa chute de tension relativement élevée, et de son décalage de balais variable avec la charge.

Société alsacienne de constructions mécaniques (Belfort). — Carcasse inductrice venue de fonte avec ses pôles inducteurs en deux parties. Noyaux polaires de section rectangulaire, sans épanouissements. Bobines inductrices sur carcasse, en tôles retenues contre les noyaux par des vis. Induit tambour, multipolaire, enroulement série. Barres induites roulées sur gabarits, et soudées aux deux bouts.

F. Krizik (Prague). — Dynamos *Fischer-Hinnen*. Carcasse cylindrique en fonte en deux parties. Évidements ménagés au droit des pôles en vue d'alléger la carcasse. Noyaux polaires venus de fonte avec la carcasse, de section carrée, sans épanouissements. Induit à rainures, tambour, séries-parallèle, conducteurs ronds pleins. Balais métalliques.

Les tableaux suivants résument les principales conditions de construction des dynamos précédemment décrites dans leurs lignes essentielles. Ces tableaux ont été dressés, ainsi que les suivants, relatifs aux alternateurs, en nous aidant de nos renseignements personnels et de la magistrale étude de M. C. F. Guilbert sur *Les dynamos à l'Exposition de 1900*. (Naud, éditeur, Paris.)

IMPRIMERIE NATIONALE.

DYNAMOS À COURANT CONTINU.

INDUCTEURS EN ACIER. — INDUIT DENTÉ.

ÉLÉMENTS.	SIEMENS BROTHERS AND C° LIMITED. London (Angleterre).	COMPAGNIE DE FIVES-LILLE. Paris (France).		SAUTTER, HARLÉ ET Cie. Paris (France).	COMPAGNIE INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ DE LIÈGE. (Belgique.)			ELECTRO-TECHNISCHE INDUSTRIE VOORHEEN W. SMIT UND C°. Slikkerveer (Hollande).	FARCOT FRÈRES ET Cie. Saint-Ouen (France).	SCHNEIDER ET Cie. — ATELIERS DU CREUSOT. Creusot (France).					MATHER AND PLATT, LIMITED. Manchester (Angleterre).
Données principales.															
Puissance, en kilowatts	1 530	220	100	132	135	100	45	65	200	22	66	121	330	200	350
Tension aux bornes, en volts	550	550	500	120	500	220	225	500	350	220	220	220	100	750	250
Intensité du courant, en ampères	2 780	400	200	1 100	270	455	200	130	572	100	300	550	3 000	257	1 400
Vitesse angulaire, en tours par minute	200	235	340	275	460	420	470	600	360	900	600	450	250	300	105
Fréquence, en périodes par seconde	26,7	15,7	22,7	9,2	23	21	23,5	20	24	30	30	22,5	25	20	10,5
Inducteurs.															
Nombre de pôles inducteurs	16	8	8	4	6	6	6	4	8	4	6	6	12	8	12
Diamètre de l'inducteur à l'extrémité des pièces polaires, en centimètres	277,5	123,4	63	83,5	74,5	66,2	52,1	51,5	101,6	41	58	73	175	92,5	212
Nature du métal des pièces polaires	Fer forgé.	Acier.	Acier.	Acier.	Tôles.	Tôles.	//	Acier.	Acier.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Acier.
Forme des pièces polaires	Rect. b. cintrés.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire becs relevés.			Parallélogr.	Rect. b. effilés.	Rectangulaire.		Rectangulaire.		Rectangulaire.	Rectangul.
Longueur utile des pièces polaires, suivant l'axe, en centimètres	53,5	40	20	50	29	28	22	32	35	22,5	32	40	27	54	48
Largeur maxima des pièces polaires, en centimètres	43	43	27,5	52	26	24	19	31	31	25,7	24,3	30,6	36,7	29	32,5
Section des pièces polaires, en centimètres carrés	2 200	1 720	550	2 450	754	672	418	990	1 085	630	760	1 200	990	1 560	1 560
Nature du métal des noyaux polaires	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.
Forme de la section des noyaux polaires	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Rectangulaire.		Rectangulaire.		Rectangul.	Circulaire.	Rectangulaire.	Annulaire.
Longueur de la section des noyaux polaires, en centimètres	44,5	40	20	50	D = 25,5	D = 23	//	31	32	22,5	32	40	D = 25,5	42,5	48
Largeur de la section des noyaux polaires, en centimètres	22	28	19	20			//	23	17,6	15	13,8	//		17,2	32,5
Section des noyaux polaires, en centimètres carrés	980	1 120	380	1 000	510	415	//	715	564	298	394	//	510	645	//
Nature du métal de la carcasse inductrice	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.
Diamètre extérieur de la carcasse inductrice, en centimètres	420	240	160	150	156	140	100	114	164	75	96	//	255	148	288
Diamètre intérieur de la carcasse inductrice, en centimètres	360	210	140	//	135	114	//	98	145	60	//	//	215	129,6	263
Largeur de la carcasse inductrice, en centimètres	73	40	20	66	59	51	34	50	32	22,5	32	40	35	42,5	34
Section de la carcasse inductrice, en centimètres carrés	860	580	200	495	400	350	//	350	290	169	200	//	290	390	550
Mode d'excitation	Shunt.	Compound.	Compound.	Compound.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.
Enroulement shunt. — Nombre de bobines	16	8	8	4	6	6	6	4	8	4	6	6	6	8	12
Enroulement shunt. — Nombre de spires par bobine	600	2 100	2 240	1 400	2 675	1 400	1 680	4 420	973	2 100	900	900	420	2 625	//
Enroulement shunt. — Nombre de circuits en parallèle	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Enroulement shunt. — Diamètre du fil, en millimètres	5,1	2,4	1,7	2,3	1,9	2,5	1,8	1,5	2,7	1,2	2	2,4	5	1,75	//
Enroulement shunt. — Section du fil, en millimètres carrés	20,43	4,52	2,27	4,15	2,83	4,9	2,54	1,76	5,72	1,13	3,14	4,52	19,63	2,40	//
Enroulement shunt. — Densité du courant, en ampères, par millimètres carrés	//	1,11	1,23	0,8	1,41	1,28	//	1,19	1,31	1,24	1,6	1,37	0,88	1,08	//
Enroulement shunt. — Résistance du circuit, en ohms	17,1 (à ch.).	105 (à ch.).	135 (à ch.).	36 (à ch.).	120 (à ch.).	27,5 (à fr.).	62 (à ch.).	222 (à fr.).	33 (à ch.).	135 (à fr.).	37 (à fr.).	33 (à fr.).	5,25 (à ch.).	240 (à fr.).	//
Enroulement shunt. — Poids du cuivre, en kilogrammes	3 200	1 060	405	300	420	350	180	300	520	85	200	310	1 000	650	//
Enroulement série. — Nombre de bobines	//	8	8	4	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Nombre de spires par bobines	//	6	3	2	2	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Nombre de circuits en parallèle	//	1	1	1	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Largeur du cuivre, en millimètres	//	35	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Épaisseur du cuivre, en millimètres	//	6	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Section du cuivre, en millimètres carrés	//	210	70	880	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Densité de courant, en ampères, par millimètres carrés	//	1,9	2,86	1,25	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Résistance du cuivre, en ohms	//	0,00765 (à ch.).	0,0012 (à ch.).	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Poids du cuivre, en kilogrammes	//	140	20	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//

ÉLÉMENTS.	SIEMENS BROTHERS AND C° LIMITED. London (Angleterre).	COMPAGNIE DE FIVES-LILLE Paris (France).		SAUTTER, HARLÉ ET Cie. Paris (France).	COMPAGNIE INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ DE LIÈGE. (Belgique.)			ELECTRO-TECHNISCHE INDUSTRIE VOORHEEN W. SMIT UND C°. Sikkerveer (Hollande).	FARCOT FRÈRES ET Cie. Saint-Ouen (France).	SCHNEIDER ET Cie. — ATELIERS DU CREUSOT. Creusot (France).					MATHER AND PLATT, LIMITED. Manchester (Angleterre).
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes	3 200	1 200	425	//	420	350	180	300	520	85	200	310	1,000	650	//
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes par kilowatt	2,10	5,45	4,25	//	3,1	3,5	4	4,62	2,6	3,86	3,04	2,56	3,03	3,25	//
Poids de l'inducteur, en kilogrammes	31 000	//	//	//	//	1 800 (s. b.).	1 500 (s. b.).	2 000 (s. b.).	2 740 (s. b.).	400 (s. b.).	900 (s. b.).	1 900 (s. b.).	4,500 (s. b.).	3 150 (s. b.).	//
INDUIT.															
Entrefer simple, en millimètres	16	7	10	7,5	7,5	6	5,5	7,5	8	3	6	8,5	8	8,5	//
Diamètre de l'induit, en centimètres	274,3	122	81	82	73	65	51	50	100	40,4	56,8	71,3	173,4	90,8	//
Vitesse tangentielle, en mètres par seconde	28,7	15	14,4	11,8	17,5	14,3	12,5	15,7	18,8	19	17,8	16,9	22,7	14,3	//
Hauteur radiale des tôles induites, en centimètres	40	17	16,5	16	15	13	9	11,5	15,5	9	10,2	12,9	17,7	16,7	14,5
Largeur totale des anneaux induits, en centimètres	53,5	42	20,5	47	26	24	23	30	34,5	22,5	32,5	41	27,5	52	43
Nature des perforations de l'induit	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.
Nombre de perforations de l'induit	308	294	478	114	100	112	110	55	214	121	144	144	432	225	//
Hauteur radiale des perforations, en millimètres	//	22	20	//	//	//	//	27	37	19	28	36	26	43	//
Largeur des perforations, en millimètres	//	6.5	6	//	//	//	//	13	7	4,6	5,6	7,6	6,6	6,5	//
Largeur des perforations dans l'entrefer, en millimètres	//	6,5	6	//	//	//	//	13	7	4,6	5,6	7,6	6,6	1,5	//
Nature de l'enroulement induit	Tambour multi-quantité.	Tambour multi-série.			Tambour multi-série.	Tamb. multi-série-paral.	Tambour multi-série.		Tamb. multi-séries-paral.	Tambour multi-quantité.			2 induits, tamb. multi-quantit.	Tambour multi-série.	Tamb. multi quantité.
Nombre de sections de l'induit	616	147	239	57	199	224	220	165	214	121	144	144	216	225	//
Nombre de spires par section	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	//
Nombre de conducteurs par perforation	4	1	1	1	4	4	4	6	2	4	4	4	2 (par induit).	2	//
Nombre des conducteurs induits	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.
Largeur des conducteurs induits, en millimètres	24	17	5,5	36	12	//	//	10	15	2,8	5	7	10	(b. sup.) 24 (b. inf.) 12	//
Épaisseur des conducteurs induits, en millimètres	5,5	3	4	8,4	4	//	//	2	4,5	2,8	3,6	5,8	5	4 – 3,92 – 4	//
Section des conducteurs induits, en millimètres carrés	132	51	22	302	48	32	28	20	63	7,85	18	40,6	50	95 48	//
Densité de courant dans l'induit, en ampères, par millimètre carré	1,32	3,92	4,55	1,82	2,81	3,55	3,57	3,25	2,27	3,18	2,78	2,26	2,5	1,4 – 2,78	//
Nombre de circuits en parallèle dans les balais	16	2	2	2	2	4	2	2	4	4	6	6	12 (p. induit).	2	12
Résistance de l'induit entre balais, en ohms	0,001115	0,0283 (à ch.).	0,065 (à ch.).	0,0025	0,038 (à ch.).	0,0135 (à ch.).	0,5 (à ch.).	0,058 (à fr.).	0,0075 (à ch.).	0,04 (à fr.).	0,0118 (à fr.).	0,007 (à fr.).	0,00054 (2 ind. en quant., à ch.).	0,04 (à fr.).	//
Poids du cuivre induit, en kilogrammes	2 000	167	60	//	145	100	70	54	220	22	65	200	350	175 + 112	//
Poids du cuivre induit, en kilogrammes, par kilowatt	1,31	0,76	0,6	//	1,07	1	1,55	0,83	1,10	1	0,985	1,65	1,06	1,93	//
COLLECTEUR.															
Nombre de lames du collecteur	616	147	239	57	199	224	220	165	214	121	144	144	216 (p. collect.)	225 (p. collect.).	//
Diamètre du collecteur, en centimètres	167,7	60	47,5	40	55	50	36	32	55	20	32	42	75	90	180
Largeur du collecteur, en centimètres	58	30	13,5	30	20	17	11	22	25	8,5	17	28	32,5 (par coll.)	9 (p. collect.).	30
Nature des balais	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.
Nombre de lignes de balais	16	8	8	4	6	6	6	2	8	4	6	6	12 (p. coll.)	4 (p. collect.).	12
Nombre de balais par ligne	19	10	5	13	6	5	3	4	6	3	8	7	10 (p. coll.)	8	4
Poids de l'induit tout monté, en kilogrammes	29 000	//	//	//	2 300	1 250	//	800	2 640	320	860	1 700	6 000	2 600	//
ESSAIS.															
Courant d'excitation à vide, en ampères	//	4,7	2,4	3,3	3,1	5,2	//	2	6,2	1,15	4,2	5,2	15	2,2	//
Courant d'excitation en charge, en ampères	//	5	2,8	//	4	6,3	//	2,	7,5	1,4	5	6,2	17,2	2,6	//
Chute de tension en charge, en pour 100	//	//	//	//	5	6	//	//	9	//	//	//	15	//	//
Pertes à vide, en watts	//	//	//	//	//	//	//	//	12 500	//	//	//	//	//	//
Pertes par effet Joule dans l'induit, en watts	//	4 500	2 600	3 030	2 800	2 800	2 000	1 150	2 450	460	1 200	2 450	4 850	3 300	//
Pertes par effet Joule dans l'inducteur shunt, en watts	//	2 750	1 400	4 200	2 000	1 390	//	1 050	2 600	310	1 100	1 350	1 900	1 950	//
Pertes par effet Joule dans l'inducteur série, en watts	//	1 220	480	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
Rendement, en pour 100	//	90	//	92	92,5	92	91	//	92	//	//	//	//	//	94

INDUCTEURS EN ACIER. — INDUIT DENTÉ.

ÉLÉMENTS.	SOCIÉTÉ DES ÉTABLISSEMENTS POSTEL-VINAY ET Cie. Paris (France).		COMPAGNIE FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS THOMSON-HOUSTON. Paris (France).		SCOTT AND MOUNTAIN C° LIMITED. Newcastle-on-Tyne (Angleterre).	SOCIÉTÉ « L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE ». Paris (France).	MASCHINENFABRIK OERLIKON. Oerlikon (Suisse).		SOCIÉTÉ DES HAUTS FOURNEAUX DE MAUBEUGE. Maubeuge (France).	MAISON BRÉGUET. Paris (France).	ÉLECTRO-TECHNISCHE INDUSTRIE VOORHEEN W. SMIT AND C°. Slikkerveer (Hollande).	GANZ ET Cie. Budapest (Autriche).
Données principales.												
Puissance, en kilowatts	350	75	500	100	331,2	60	200	55	350	100	350	60
Tension aux bornes, en volts	525 — 575	550	550	500	230	220	550	125	250	125	230	560 — 760
Intensité du courant, en ampères	610	136	710	200	1 440	272	365	440	1 400	800	1 520	107
Vitesse angulaire, en tours par minute	90	160	95	500	90	400	370	600	120	780	110	650 — 820
Fréquence, en périodes par seconde	8	6	6,33	25	6	26,7	12,3	20	12	26	9,2	32,5 — 41
Inducteurs.												
Nombre de pôles inducteurs	6	8	8	6	8	8	4	4	12	4	10	6
Diamètre de l'inducteur à l'extrémité des pièces polaires, en centimètres	161,8	101,8	184,8	70,6	154,62	61,2	102	48	241	56,8	201,6	52,5
Nature du métal des pièces polaires	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.
Forme des pièces polaires	Rectangulaire,	bords cintrés.	Rectangulaire,	bords cintrés.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rect. b. découpés.
Longueur utile des pièces polaires suivant l'axe, en centimètres	62	37	58	27	51	30	48	32	50	41	40	//
Largeur maxima des pièces polaires, en centimètres	52	38	58	29,5	48	18	60	25,5	54	28,4	45	//
Section des pièces polaires, en centimètres carrés	3 150	1 400	3 300	780	2 450	540	2,880	816	2 700	1 050	1 800	//
Nature du métal des noyaux polaires	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.
Forme de la section des noyaux polaires	Rectangulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Rectangulaire.	Annulaire.	Circulaire.	Circulaire.
Longueur de la section des noyaux polaires, en centimètres	45	D = 31	D = 51	D = 22,5	51	30	D = 42,5	D = 24	50	41	D = 36	//
Largeur de la section des noyaux polaires, en centimètres	42				33	14			2 × 17	28,4		//
Section des noyaux polaires, en centimètres carrés	1 850	755	2 040	400	1 680	360	1 420	450	1 700	//	1 020	//
Nature du métal de la carcasse inductrice	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.
Diamètre extérieur de la carcasse inductrice, en centimètres	312,6	189	343	//	280	104	199	113	320	//	330	//
Diamètre intérieur de la carcasse inductrice, en centimètres	257	164	290	//	246	90	165	94	//	//	281	//
Largeur de la carcasse inductrice, en centimètres	60	38	64	//	73,5	42	44	26	80	54	45	//
Section de la carcasse inductrice, en centimètres carrés	1 100	340	1 230	//	1 150	185	720	230	//	405	600	//
Mode d'excitation	Compound.	Compound.	Compound.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Compound.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.
Enroulement shunt. — Nombre de bobines	8	6	8	6	8	8	4	4	24	2	10	6
Nombre de spires par bobine	1 214	2 550	1 500	2 400	680	580	3 200	1 500	518	//	675	//
Nombre de circuits en parallèle	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	//
Diamètre du fil, en millimètres	2,4	2	2,7	1,8	5,4	2,2	2	2,9	4	//	4,5	//
Section du fil, en millimètres carrés	4,5	3,14	5,72	2,54	22,9	3,8	3,14	6,6	12,56	//	15,9	//
Densité de courant, en ampères, par millimètre carré	1,31	1,43	1,05	1,50	1	//	0,75	0,71	1,07	1,6	1,13	//
Résistance du circuit, en ohms	90 (à ch.).	113 (à ch.).	80 (à fr.).	105 (à fr.).	//	22,6 (à ch.)	118,6 (à fr.)	16,4 (à fr.).	7 (à fr.).	//	9,6 (à fr.).	221,2 (à ch.).
Poids du cuivre, en kilogrammes	840	498	1 040	325	10	150	600	350	2 00	//	1,300	//
Enroulement série. — Nombre de bobines	8	//	8	//	//	//	4	//	//	//	//	//
Nombre de spires par bobine	12,5	//	9,5	//	//	//	3,5	//	//	//	//	//
Nombre de circuits en parallèle	1	//	1	//	//	//	1	//	//	//	//	//
Largeur du cuivre, en millimètres	120	//	//	//	//	//	170	//	//	//	//	//
Épaisseur du cuivre, en millimètres	3	//	//	//	//	//	2	//	//	//	//	//
Section du cuivre, en millimètres carrés	360	//	600	//	//	//	340	//	//	//	//	//
Densité de courant, en ampères, par millimètre carré	1,7	//	1,52	//	//	//	1,07	//	//	//	//	//
Résistance du cuivre, en ohms	0,012 (à ch.).	//	0,004 (à fr.).	//	//	//	0,015 (à fr.).	//	//	//	//	//
Poids du cuivre, en kilogrammes	688	//	760	//	//	//	100	//	//	//	//	//
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes	1 528	498	1 800	325	//	150	700	350	2 000	//	1 300	//
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes, par kilowatt	4,37	6,65	3,6	3,25	//	2,5	3,5	6,37	5,72	//	3,72	//
Poids de l'inducteur, en kilogrammes	//	//	21 400	3 500	//	970	2 200 (s. b.).	//	10 630 (s. b.).	//	11 700 (s. b.).	//

ÉLÉMENTS.	SOCIÉTÉ DES ÉTABLISSEMENTS POSTEL-VINAY ET Cie. Paris (France).		COMPAGNIE FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS THOMSON-HOUSTON. Paris (France).		SCOTT AND MOUNTAIN C° LIMITED. Newcastle-on-Tyne (Angleterre).	SOCIÉTÉ « L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE ». Paris (France).	MASCHINENFABRIK OERLIKON. Oerlikon (Suisse).		SOCIÉTÉ DES HAUTS FOURNEAUX DE MAUBEUGE. Maubeuge (France).	MAISON BRÉGUET. Paris (France).	ÉLECTRO-TECHNISCHE INDUSTRIE VOORHEEN W. SMIT AND C°. Slikkerveer (Hollande).	GANZ UND Cie. Budapest (Autriche).
Induit.												
Entrefer simple, en millimètres	9	9	9	8	11,1	6	10	5	5	7	8	2,5
Diamètre de l'induit, en centimètres	160	100	183	69	152,4	60	100	47	240	55,4	200	52
Vitesse tangentielle, en mètres par seconde	7,55	8,40	9,1	18	//	12,5	19,4	14,8	15,1	22,5	11,5	17,7 — 22,2
Hauteur radiale des tôles induites, en centimètres	21	16	24,5	11	29,2	8	20,5	10,5	20	12,2	24	//
Largeur totale des anneaux induits, en centimètres	55	29	51	23	46	30	42,5	32	50	39	37	13
Nature des perforations de l'induit	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Enc. demi-fermées.	Encoches demi-fermées.		Encoches circul.
Nombre de perforations de l'induit	208	230	176	110	184	128	240	116	288	60	224	40
Hauteur radiale des perforations, en millimètres	45	38	46	34	50,8	//	//	22	43	//	53	//
Largeur des perforations, en millimètres	14	8,1	12,2	12	12,7	//	//	6	12	//	13	//
Largeur des perforations dans l'entrefer, en millimètres	14	8,1	12,2	12	12,7	//	//	6	2	//	10	//
Nature de l'enroulement induit	Tamb. multip. quantité.	Tamb. multip. série.	Tamb. multip. quantité.	Tamb. multip. série.	Tambour multiple quantité.		Tambour multip.-séries-parallèle.		Anneau Gramme.	Tamb. multip.-sér.-parallèle.	Tamb. multip-quantité.	Tambour multip.-série.
Nombre de sections de l'induit	416	460	704	220	368	128	240	116	288	120	448	200
Nombre de spires par section	2	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	2
Nombre de conducteurs par perforation	8	4	8	4	4	6	2	2	3	4	4	20
Nature des conducteurs induits	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	2 fils en paral.	Barres.	Barres.	Câble (37 fils de 1,5 mil).	Barres.	Barres.	Fil.
Largeur des conducteurs induits, en millimètres	6,7	5,8	//	//	20,3	$d = 2,1$	22	18	//	16	20	//
Épaisseur des conducteurs induits, en millimètres	3,7	3,7	//	//	3,81		1,4	1,8	//	2,5	3	//
Section des conducteurs induits, en millimètres carrés	24,8	21,5	42	38	77,5	6,9	30,8	32,4	65	40	60	//
Densité de courant dans l'induit, en ampères, par millimètre carré	3,07	3,16	2,7	2,63	2,32	4,93	2,96	3,4	1,8	2,5 / 8	2,53 / 10	// / 2
Nombre de circuits en parallèle dans les balais	8	2	8	2	8	8	4	4	12			
Résistance de l'induit entre balais	0,03 (à ch.).	0,2 (à ch.).	0,015 (à fr.).	0,039 (à fr.).	0,00425	0,016 (à ch.).	0,34 (à ch.).	0,077 (à fr.).	0,0025 (à fr.).	//	0,003 (à fr.).	0,186 (à fr.).
Poids du cuivre induit, en kilogrammes	600	180	920	115	//	36	240	70	790	//	600	//
Poids du cuivre induit, en kilogrammes par kilowatt	1,71	2,40	1,84	1,15	//	0,6	1,2	1,27	2,26	//	1,71	//
Collecteur.												
Nombre de lames du collecteur	416	460	704	220	368	128	240	116	288	120	448	200
Diamètre du collecteur, en centimètres	120	63,5	160	50	106,7	36	58	23,6	180	27	150	36
Largeur du collecteur, en centimètres	23	15	30	13	25,4	18	20	23	24	31	30	8
Nature des balais	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.
Nombre de lignes de balais	8	6	8	6	8	8	4	4	12	4	10	6
Nombre de balais par ligne	4	2	//	//	3	4	10	10	6	12	6	2
Poids de l'induit tout monté, en kilogrammes	10 000	4,000	12 600	1 000	//	376	2 400	//	10 177	//	12 000	//
Essais.												
Courant d'excitation à vide, en ampères	5,2 (525 v.).	3,5	5,3	2,8	//	6,9	2,25	3,6	10	//	14	//
Courant d'excitation en charge, en ampères	5,9 (575 v.).	4,5	6	3,8	23	8,65	2,36	4,7	13,5	//	18	//
Chute de tension en charge, en p. 100	4,4	6,5	//	//	//	16,5	//	16	//	//	//	//
Pertes à vide, en watts	//	//	//	//	//	1 750	2 150	//	//	//	//	//
Pertes par effet Joule dans l'induit	11 200	3 700	14 500	1 800	8 800	1 340	4 600	1 700	5 600	//	7 800	//
Pertes par effet Joule dans l'inducteur shunt	3 400	2 470	3 300	1 900	5 300	1 450	1 300	590	1 500	//	4 150	//
Pertes par effet Joule dans l'inducteur série	4 500	//	3 800	//	//	//	400	//	//	//	//	//
Rendement, en pour 100	//	//	//	//	94	93,2	94	//	//	//	//	//

(180 v. — 280 a.)

INDUCTEURS EN ACIER. — INDUIT LISSE.

ÉLÉMENTS.	COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ DE CREIL (ÉTABLISSEMENTS DAYDÉ ET PILLÉ). Creil (France).	ELECTRICITÄTS ACTIEN-GESELLSCHAFT VORMALS SCHUCKERT UND C°. Nürnberg (Allemagne).		SCHNEIDER ET Cie. Ateliers du Creusot. Creusot (France).	SOCIÉTÉ NOUVELLE DES ÉTABLISSEMENTS DECAUVILLE AÎNÉ. Petit-Bourg (France).	SOCIÉTÉ ANONYME « L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE ». Paris (France).	COMPAGNIE DE FIVES-LILLE. (France).	SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES de Belfort (France).
Données principales.								
Puissance, en kilowatts	682,5	900	684	45	400	200	36	750
Tension aux bornes, en volts	250	600	600	115	250	230	120	500 600
Intensité du courant, en ampères	2 730	1 500	1 140	392	1 600	870	300	1 500 1 250
Vitesse angulaire, en tours par minute	120	100	107	650	71	110	750	70
Fréquence, en périodes par seconde	14	11,7	12,5	32,5	5,9	11	25	7
Inducteurs.								
Nombre de pôles inducteurs	14	14	14	6	10	12	4	12
Diamètre de l'inducteur à l'extrémité des pièces polaires, en centimètres	253,8	304,2	//	58	285	203,8	44,8	334
Nature du métal des pièces polaires	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Fer.	Acier.
Forme des pièces polaires	Parallélogramme.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.
Longueur utile des pièces polaires suivant l'axe, en centimètres	49	//	//	36	33	35	18	51
Largeur maxima des pièces polaires, en centimètres	48	//	//	23,5	78	36	30	72
Surface d'une pièce polaire, en centimètres carrés	2 350	//	//	848	2 580	1 200	540	3,670
Nature du métal des noyaux polaires	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.
Forme de la section des noyaux polaires	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Carré.
Longueur de la section des noyaux polaires, en centimètres	41	41	41	36	33	30	18	48
Largeur de la section des noyaux polaires, en centimètres	32	//	//	10	46	30	15	48
Section des noyaux polaires, en centimètres carrés	1 310	//	//	360	1520	840	270	2 300
Nature du métal de la carcasse inductrice	Acier.	//	//	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.
Diamètre extérieur de la carcasse inductrice, en centimètres	348	//	//	//	370	310	101,3	228
Diamètre intérieur de la carcasse inductrice, en centimètres	//	//	//	//	//	266	81,3	173
Largeur de la carcasse inductrice, en centimètres	41	41	41	36	35	48	18	56
Section de la carcasse inductrice, en centimètres carrés	650	//	//	216	805	570	180	1 250
Mode d'excitation	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.
Enroulement shunt. — Nombre de bobines	14	14	14	6	10	12	4	12
Enroulement shunt. — Nombre de spires par bobine	486	//	//	880	729	430	1 085	1 000
Enroulement shunt. — Nombre de circuits en parallèle	1	1	1	1	1	1	1	1
Enroulement shunt. — Diamètre du fil, en millimètres	5,6	//	//	2,8	5,3	4,5	2,2	5,2
Enroulement shunt. — Section du fil, en millimètres carrés	24,6	//	//	6,16	22	15,9	3,8	21,2
Enroulement shunt. — Densité de courant, en ampères, par millimètre carré	1,04	//	//	1,31	1,39	2,01	1,31	//
Enroulement shunt. — Résistance du circuit, en ohms	8,12 (à fr.)	//	//	11,6 (36°)	6,8 (17°)	7,5 (à ch.)	21 (à fr.)	24,2 (à ch.)
Enroulement shunt. — Poids du cuivre en kilogrammes	2 870	//	//	198	1 700	811	153	4 900
Enroulement série. — Nombre de bobines	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Nombre de spires par bobine	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Nombre de circuits en parallèle	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Largeur du cuivre, en millimètres	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Épaisseur du cuivre, en millimètres	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Section du cuivre, en millimètres carrés	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Densité de courant, en ampères, par millimètre carré	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Résistance du circuit, en ohms	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Poids du cuivre, en kilogrammes	//	//	//	//	//	//	//	//

ÉLÉMENTS.	COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ DE CREIL (ÉTABLISSEMENTS DAYDÉ ET PILLÉ). Creil (France).	ELECTRICITÄTS ACTIEN-GESELLSCHAFT VORMALS SCHUCKER UND C°. Nürnberg (Allemagne).		SCHNEIDER ET Cie. Ateliers du Creusot. Creusot (France).	SOCIÉTÉ NOUVELLE DES ÉTABLISSEMENTS DECAUVILLE AÎNÉ. Petit-Bourg (France)	SOCIÉTÉ ANONYME «L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE». Paris (France).	COMPAGNIE DE FIVES-LILLE (France).	SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES de Belfort (France).
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes	2 870	//	//	198	1 700	811	153	4 900
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes, par kilowatt	4,2		//	4,4	4,25	4,05	4,25	6,55
Poids de l'inducteur, en kilogrammes	12 100 (s. b.)	29 000 (a. b.)	//	//	16 500	6 255	//	25 000 (a. b.)
Induit.								
Entrefer simple, en millimètres	18	21	//	8,5	10	19	5.5	40
Diamètre de l'induit dans l'entrefer, en centimètres	250 2	300	//	56,3	283	200	43,7	342
Vitesse tangentielle, en mètres, par seconde	15,7	15,7	//	19,2	10,5	11,5	17,1	13,6
Hauteur radiale des tôles induites, en centimètres	15,6	//	//	6,5	21,5	8	9	15
Largeur totale des anneaux induits, en centimètres	51	//	//	36	35	35	18,5	50
Genre de l'enroulement induit	Tambour mult. quantité.		Tamb. mult. quantité.	Tambour mult. quantité.	Tamb. mult. sér. paral.	Anneau Gramme.	Tambour mult. quantité.	Anneau Gramme.
Nombre de sections de l'induit	406	536	459	153	625	276	140	2 496
Nombre de spires par section	1	2	2	1	1	3	1	1
Nombre total de conducteurs à la périphérie	812	2 144	1 836	306	1 250	1 656	280	2 496
Nature des conducteurs induits	Câble.	Câble.	Câble.	Câble (37 fils de 0 m. 075.)	Câble plat.	Câble.	Barres.	Barres.
Largeur des conducteurs induits, en millimètres	//	//	//	$d = 5,25$	7,5	//	4	40 — 30
Épaisseur des conducteurs induits, en millimètres	//	//	//		6,5	//	4	4 — 2,5
Section des conducteurs induits, en millimètres carrés	75	//	//	16,4	//	21	16	160 — 75
Densité de courant, en ampères, par millimètre carré	2,6	//	//	3,98	//	3,45	4,7	//
Nombre de circuits en parallèle sous les balais	14	//	//	6	10	12	4	12
Résistance de l'induit entre balais	0,001565 (à fr.)	0,0059 (à ch.)	0,00104 (à ch.)	0,0071 (à 36°.)	0,005 (à ch.)	0,0096 (à ch.)	0,0105 (à fr.)	0,0056 (à ch.)
Poids du cuivre induit, en kilogrammes	871	//	//	34	//	365	29,5	3 400
Poids du cuivre induit, en kilogrammes, par kilowatt	1,28	//	//	0,76	//	1,83	0,82	4,55
Collecteur.								
Nombre de lames du collecteur	406	536	459	153	625	276	140	2 496
Diamètre du collecteur, en centimètres	160	180	//	27,5	200	120	40	380,9
Largeur du collecteur, en centimètres	18,5	20	//	13,5	20	19	13	56,7
Nature des balais	Charbon-cuivre.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Métalliques.
Nombre de lignes de balais	14	14	14	6	//	12	4	12
Nombre de balais par ligne	4	4	4	6	//	4	7	4
Poids de l'induit tout monté, en kilogrammes	10 800 (s. a.)	16 000	//	//	12 500	3 900	//	19 000
Essais.								
Courant d'excitation à vide, en ampères	20	//	//	7,2	22	26,5	4,5	//
Courant d'excitation en charge, en ampères	25,5	//	//	8,1	30,5	32	5	//
Chute de tension en charge, en p. 100	4	//	//	17	12	6	//	//
Pertes à vide, en watts	21 000	26,300	21 000	//	//	2 270	//	8 825
Pertes par effet Joule dans l'induit	13 500	14,700	13 500	1 250	12 800	7 300	1 080	8 750
Pertes par effet Joule dans l'inducteur shunt	6 400	7,800	6 000	890	7 600	7 400	600	15 000
Pertes par effet Joule dans l'inducteur série	//	//	//	//	//	//	//	//
Rendement, en pour 100	94	93,5	94	//	//	92,3	//	94,7

DYNAMOS À COURANT CONTINU.

CARCASSE OU INDUCTEURS EN FONTE.

ÉLÉMENTS.	SIEMENS UND HALSKE ACTIEN-GESELLSCHAFT WIENER WERK. Wien (Autriche).	ELEKTRICITÄTS AKTIEN-GESELLSCHAFT VORMALS W. LAHMEYER UND C°. Frankfürt-a-Mein (Allemagne).	ELEKTRICITÄTS GESELLSCHAF ALIOTH. Basel-Münchenstein (Suisse).		ACTIEN-GESELLSCHAFT VORMALS JOH. JACOB RIETER. Winterthur (Suisse).	SOCIETA ESERCIZIO BACINI. Genova (Italie).	SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES DE BELFORT. (France).	F. KRIZIK. Prag (Bohême).
Données principales.								
Puissance, en kilowatts	1 000	350	225	30	70	400	200	65
Tension aux bornes, en volts	550	550	550	125	125 — 180	500	550	125
Intensité du courant, en ampères	1 820	650	410	240	560 — 388	800	364	520
Vitesse angulaire, en tours, par minute	95	94	280	425	550	160	125	550
Fréquence, en périodes, par seconde	11,1	9,4	23,3	35,4	27,5	21,4	10,4	18,3
Inducteurs.								
Nombre de pôles inducteurs	14	12	10	10	6	16	10	4
Diamètre de l'inducteur à l'extrémité des pièces polaires, en centimètres	252	241,4	152,4	73,3	59,2	193,6	171,6	62
Nature du métal des pièces polaires	Tôles.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Fer.	Fonte.	Fonte.
Forme des pièces polaires	Rectangulaire.	Carré.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Carré.
Longueur utile des pièces polaires suivant l'axe, en centimètres	49	42	35	17	34	36	37,5	32
Largeur maxima des pièces polaires, en centimètres	42,3	42	34	16	24	30	30	32
Section des pièces polaires, en centimètres carrés	2 200	1 760	1 140	272	816	1 080	1 125	1 024
Nature du métal des noyaux polaires	Tôles.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Fer.	Fonte.	Fonte.
Forme de la section des noyaux polaires	Rectangulaire.	Circulaire.	Rectangulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Carré.
Longueur de la section des noyaux polaires, en centimètres	49	D = 35	23	D = 12	D = 22	34	37,5	32
Largeur de la section des noyaux polaires, en centimètres	32,5		22			19,4	30	32
Section des noyaux polaires, en centimètres carrés	1 590	960	506	113	380	660	1 125	1 024
Nature du métal de la carcasse inductrice	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.
Diamètre extérieur de la carcasse inductrice, en centimètres	388	330	213	120	130	275	260	130
Diamètre intérieur de la carcasse inductrice, en centimètres	336	296	185,2	101	112	245	230	105
Largeur de la carcasse inductrice, en centimètres	106	53	41,5	27	35	44	50	42
Section de la carcasse inductrice, en centimètres carrés	1 850	890	460	190	300	630	675	460
Mode d'excitation	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.	Shunt.
Enroulement shunt. — Nombre de bobines	14	12	10	10	6	16	10	4
Enroulement shunt. — Nombre de spires par bobine	770	1 173	1 600	1 100	800	//	1 000	620
Enroulement shunt. — Nombre de circuits en parallèle	1	1	1	1	1	1	1	1
Enroulement shunt. — Diamètre du fil, en millimètres	5	//	2	1,9	3,2	3,5	3,2	3,4
Enroulement shunt. — Section du fil, en millimètres carrés	19,63	//	3,14	2,83	8,04	9,62	8,04	9,08
Enroulement shunt. — Densité de courant, en ampères, par millimètre carré	1,22	//	1,6	1,06	//	//	1,43	//
Enroulement shunt. — Résistance du circuit, en ohms	18 (à ch.)	47 (à ch.)	110 (à ch.)	30 (à fr.)	11 (à ch.)	56 (à ch.)	38 (à ch.)	8,32 (à fr.)
Enroulement shunt. — Poids du cuivre, en kilogrammes	3 000	//	520	125	320	2 300	1 100	325
Enroulement série. — Nombre de bobines	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Nombre de spires par bobine	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Nombre de circuits en parallèle	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Largeur du cuivre, en millimètres	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Épaisseur du cuivre, en millimètres	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Section du cuivre, en millimètres carrés	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Densité de courant, en ampères, par millimètre carré	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Résistance du cuivre, en ohms	//	//	//	//	//	//	//	//
Enroulement série. — Poids du cuivre, en kilogrammes	//	//	//	//	//	//	//	//
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes	3 000	//	520	125	320	2 300	1 100	//

ÉLÉMENTS.	SIEMENS UND HALSKE ACTIEN-GESELLSCHAFT WIENER WERK. Wien (Autriche).	ELEKTRICITÄTS AKTIEN-GESELLSCHAFT VORMALS W. LAHMEYER UND C°. Frankfurt-a-Mein (Allemagne).	ELEKTRICITÄTS GESELLSCHAFT ALLIOTH. Basel-Münchenstein (Suisse).		ACTIEN-GESELLSCHAFT VORMALS JOH. JACOB RIETER UND C°. Winterthur (Suisse).	SOCIETA ESERCIZIO BACINI. Genova (Italie).	SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES DE BELFORT (France).	F. KRIZIK. Prag (Bohême).
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes, par kilowatt	3	//	2,3	4,17	4,57	5,75	5,5	5
Poids de l'inducteur, en kilogrammes	//	19 000	//	//	1 530 (s b.)	10 500 (s. b.)	7 000	//
Induit.								
Entrefer simple, en millimètres	8 — 12	7	12	6,5	6	8	8	5
Diamètre de l'induit, en centimètres	250	240	150	72	58	192	170	61
Vitesse tangentielle, en mètres, par seconde	12,4	11,8	22	16	16,8	16,1	11,1	17,5
Hauteur radiale des tôles induites, en centimètres	22,5	29	13	7,5	12	24	21,5	12,25
Largeur totale des anneaux induits, en centimètres	49	42	35	17	36	34	27	32
Nature des perforations de l'induit	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.
Nombre de perforations de l'induit	286	609	387	161	150	516	168	98
Hauteur radiale des perforations, en millimètres	50	//	//	//	28	//	46	21
Largeur des perforations, en millimètres	13	//	//	//	6	//	15	//
Largeur des perforations dans l'entrefer, en millimètres	13	//	//	//	6	//	15	//
Nature de l'enroulement induit	Tambour mult.-séries-parallèle.	Tambour mult.-quantité.	Tambour mult.-séries-parallèle.	Tambour mult.-série.	Tambour mult.-quantité.	Tambour mult.-quantité.	Tambour mult.-série.	Tambour mult.-séries-parallèle.
Nombre de sections de l'induit	572	609	387	161	150	516	336	98
Nombres de spires par section	1	1	1	1	1	2	1	1
Nombre de conducteurs par perforation	4	2	2	2	2	4	4	2
Nature des conducteurs induits	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Barres.	Fil rond.
Largeur des conducteurs induits, en millimètres	18	//	10	10	25	4	20	$d = 7,8$
Épaisseur des conducteurs induits, en millimètres	4	//	3	4	1,6	4	4,5	
Section des conducteurs induits, en millimètres carrés	72	//	30	40	40	16	90	47,78
Densité de courant dans l'induit, en ampères, par millimètre carré	2,53	//	3,42	3	2,35 — 1,62	3,12	2,02	2,72
Nombre de circuits en parallèle dans les balais	10	12	4	2	6	16	2	4
Résistance de l'induit entre balais	0,0037 (à ch.)	0,022 (à ch.)	0,036 (à ch.)	//	0,0035 (à ch.)	//	0,035 (à ch.)	0,0171
Poids du cuivre induit, en kilogrammes	//	//	240	//	90	//	//	99
Poids du cuivre induit, en kilogrammes, par kilowatt	//	//	1,07	//	1,28	//	//	1,52
Collecteur.								
Nombre de lames du collecteur	572	609	387	161	150	516	336	98
Diamètre du collecteur, en centimètres	208	200	88	47	32	100	107	25
Largeur du collecteur, en centimètres	27	15	9,5	5	19	10,4	19	16
Nature des balais	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Métallique.	Charbon.	Métallique.
Nombre de lignes de balais	14	12	10	10	6	16	10	4
Nombre de balais par ligne	5	3	4	4	//	2	6	3
Poids de l'induit tout monté, en kilogrammes	//	12 000	//	//	870	5 000	//	//
Essais.								
Courant d'excitation à vide, en ampères	23	9,5	4	2,7	//	//	//	//
Courant d'excitation en charge, en ampères	24	10,4	5	3	//	//	11,5	//
Chute de tension en charge, en p. 100	3	10	6	8	//	//	//	//
Pertes à vide, en watts	//	10 000	//	//	//	//	2 600	//
Pertes par effet Joule dans l'induit	12 200	9 300	6 000	//	1 100 — 530	//	4 500	//
Pertes par effet Joule dans l'inducteur shunt	13 200	5 250	2 750	375	//	//	5 000	//
Pertes par effet Joule dans l'inducteur série	//	//	//	//	//	//	//	//
Rendement, en pour 100	95	93	//	//	94	//	93,6	//

IMPRIMERIE NATIONALE.

DYNAMOS À INTENSITÉ CONSTANTE.

La plupart des dynamos à courant continu sont établies pour fournir une différence de potentiel très sensiblement constante à toutes charges, que l'on maintient constante ou légèrement croissante avec la charge par simple variation d'excitation. Dans certaines applications, la dynamo doit produire un courant constant, et une force électromotrice variable depuis zéro (court circuit), ou depuis une certaine valeur jusqu'à un maximum.

Société Gramme. — Pour l'éclairage des grands espaces par lampes à arc en série, la Société Gramme a construit une dynamo à intensité constante (10 ampères) et tension variable de 800 à 2 000 volts, avec induit en anneau. L'excitation de cette dynamo est empruntée à une seconde dynamo plus petite montée sur le prolongement de l'arbre. Cette dynamo d'excitation à induit en anneau est elle-même excitée en série (fig. 28).

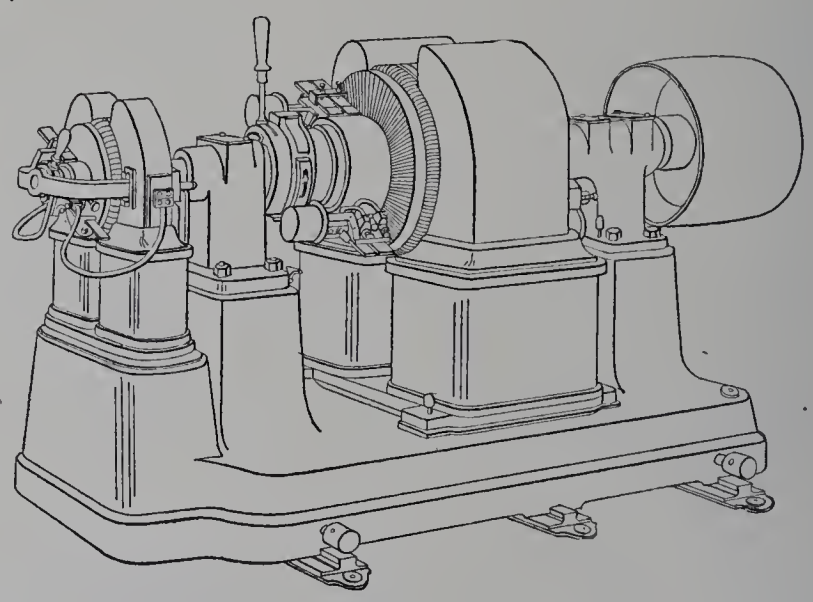


Fig. 28. — Dynamo à intensité constante et excitation séparée de la Société Gramme, pour l'éclairage par lampes à arc.

Western Electric C°. — Ces dynamos, dites *à arcs,* sont utilisées en Amérique pour l'éclairage des rues par arcs de 9,6 ou de 6 ampères, pour des tensions variant entre 2 500 volts (50 lampes en tension) et 7 500 volts (150 lampes en tension). Inducteur bipolaire en fer forgé, culasse et pièces polaires en acier coulé. Toutes les parties sont démontables en quelques minutes (fig. 29 et 30, p. 51).

Induit denté en tôles, bobinage en anneau. Les bobines élémentaires sont isolées de la carcasse par du *pressspahn,* du mica et de la toile huilée. Collecteur de grand diamètre. Balais en charbon graphité. La force électromotrice est réglée par variation de l'excitation (fig. 31, p. 52).

Dynamo à tension différentielle. — On ne peut, en agissant sur l'excitation d'une dynamo, faire varier sa force électromotrice à pleine charge qu'entre un minimum représenté

Fig. 29. — Carcasse d'induit à haute tension de la dynamo à courant constant de la Western Electric C°, de Chicago.

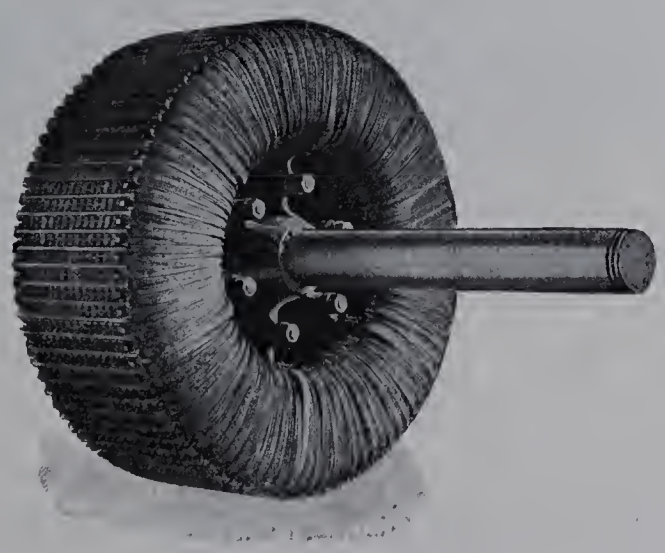


Fig. 30. — Induit bobiné de la dynamo à courant constant de la Western Electric C°.

par 1 et un maximum représenté par 1,5. La dynamo *système E. Lanhoffer*, exposée par la Maison Bréguet, permet, pour certaines applications spéciales, de faire varier à volonté cette force électromotrice entre un minimum de 1 et un maximum de 5.

Dans ce but, la dynamo comporte un enroulement induit unique, embrassant deux

carcasses induites montées parallèlement sur le même arbre, et soumises à l'action de deux inducteurs distincts formant deux champs magnétiques indépendants.

La force électromotrice totale sera égale, à chaque instant, à la somme algébrique des forces électromotrices développées dans l'enroulement par chacun des champs magné-

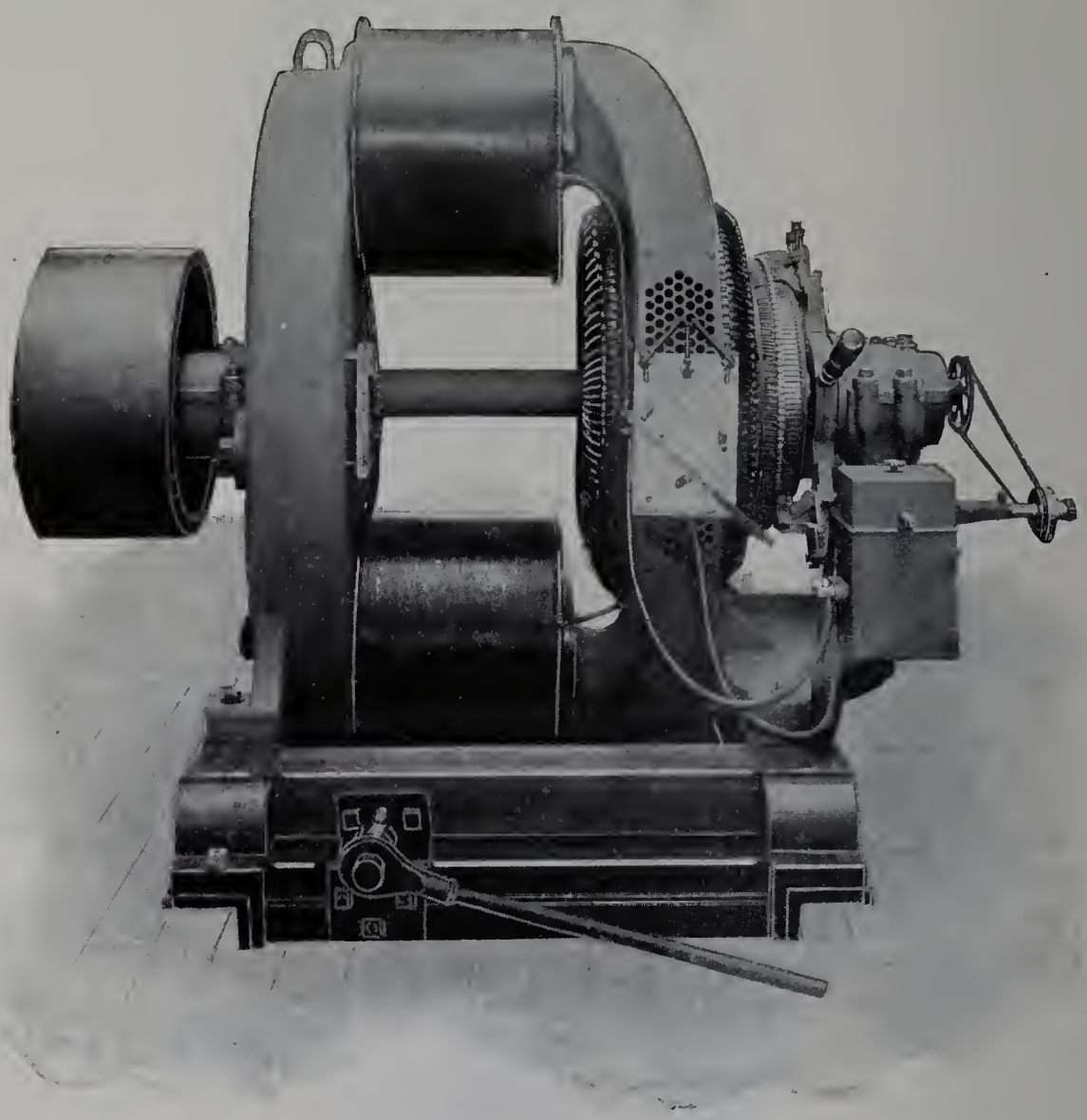


Fig. 31. — Vue d'ensemble de la dynamo à courant constant de la Western Electric C°, de Chicago.

tiques. Ils pourront s'ajouter ou se retrancher : la force électromotrice développée prendra toutes les valeurs intermédiaires, en agissant graduellement sur l'excitation des deux champs et sur le couplage de leurs excitations.

GÉNÉRATEURS POLYMORPHIQUES.

Nous désignons sous ce nom les dynamos capables de produire la puissance électrique sous plusieurs formes différentes, en proportions variables à chaque instant pour chacune des formes jusqu'à concurrence de la puissance maxima pour laquelle la dynamo est établie.

Une dynamo polymorphique est, en principe, une dynamo à courant continu munie de son collecteur, sur lequel on recueille du courant continu, et de bagues convenablement reliées à l'enroulement induit, sur lesquelles on peut recueillir, à l'aide de frotteurs, simultanément, des courants alternatifs simples, diphasés ou triphasés.

Signalons, à titre d'exemple, une dynamo dimorphique de 60 kilowatts exposée par la Société alsacienne de constructions mécaniques, établie pour un tissage de drap, dans lequel elle actionne une série de métiers à tisser pour lesquels les moteurs triphasés présentent des avantages particuliers, et un éclairage à courant continu pour lequel les appareils existent. Elle fournit le courant triphasé à la fréquence de 25 périodes par seconde.

Nous signalerons également, parmi les alternateurs, une puissante machine exposée par la Société Helios, de Cologne, et produisant simultanément des courants alternatifs simples et des courants triphasés.

B. — ALTERNATEURS.

Si l'Exposition de 1889 ne renfermait qu'un très petit nombre de dynamos à courants alternatifs simples, celle de 1900 n'était pas beaucoup mieux partagée à ce point de vue. Le développement des courants alternatifs triphasés a, en quelque sorte, arrêté l'essor des alternateurs simples et même celui des alternateurs diphasés.

Il n'y avait, en effet, à l'Exposition de 1900, que sept alternateurs simples ou diphasés, pour plus de soixante machines à courants alternatifs triphasés. Cet abandon de l'alternatif simple tient à ce que, grâce aux progrès réalisés pendant ces dernières années, les courants polyphasés, triphasés en particulier, possèdent aujourd'hui toutes les qualités et tous les avantages des courants alternatifs simples, au point de vue de la distribution de l'énergie, et qu'ils en présentent un grand nombre d'autres pour la production de la force motrice, le transport à distance et la transformation facile en courant continu.

En raison de la symétrie du système à courant triphasé, et des économies qu'il permet de réaliser sur la canalisation, à puissance, tension et pertes constantes, le *triphasé* est généralement préféré au *diphasé* (qu'il serait plus rationnel de désigner sous le nom de *tétraphasé*). On a même intérêt, dans certaines applications, à transformer le courant diphasé en triphasé, en vue d'en faire plus commodément et plus économiquement le transport à distance.

ALTERNATEURS TRIPHASÉS.

Dispositions générales. — Un alternateur est constitué, en général, à l'inverse des dynamos à courant continu, par un induit *fixe* et un inducteur *mobile* constituant, dans bien des cas, le volant même de la machine motrice. L'induit fixe facilite la construction, l'isolement des bobines induites et des conducteurs amenant le courant au tableau, conducteurs dont toutes les parties peuvent être recouvertes d'un isolement approprié. L'excitation des inducteurs, n'exigeant qu'un courant insignifiant à une faible tension, s'obtient ainsi très facilement à l'aide de deux bagues sur lesquelles appuient deux balais reliés à l'excitatrice.

Certains types comportaient cependant un inducteur fixe et un induit mobile.

Pour les deux systèmes, l'inducteur et l'induit affectent cependant des dispositions générales communes, et n'en diffèrent que par quelques points de détail que nous signalerons en indiquant les caractéristiques propres à chaque alternateur.

Fréquences. — Les fréquences des alternateurs, autrefois très variables, tendent à s'unifier. On emploie généralement les suivantes :

25 périodes par seconde pour les transmissions d'énergie, les installations de force motrice et les distributions comportant des commutatrices;

40 périodes par seconde pour les distributions comportant à la fois des moteurs et de l'éclairage direct;

50 périodes par seconde lorsque l'éclairage est prédominant et que les moteurs sont en petit nombre ou de faible puissance.

Il y a tendance à abandonner les fréquences de 60 périodes par seconde et au-dessus, pour lesquelles les moteurs ont des vitesses angulaires trop grandes, les lignes trop d'impédance, les câbles trop de capacitance, et la construction des commutatrices présente trop de difficultés.

Tensions. — Les alternateurs en service à l'Exposition étaient établis pour une tension composée de 2 200 volts efficaces. Les Ateliers d'Œrlikon ont exposé un alternateur de 8 000 volts, et la société l'Éclairage électrique, un alternateur à courants alternatifs simples produisant directement 30 000 volts. Il semble que cette tension dépasse celle qu'il est facile et pratique de produire directement dans un appareil en mouvement. La limite supérieure paraît être de 12 000 à 15 000 volts. Au delà, il est préférable d'avoir recours à des transformateurs.

Forme des courbes de tension. — La forme idéale de la courbe de tension périodique fournie par un alternateur serait la sinusoïde. On doit chercher à s'en rapprocher le plus possible, afin d'éviter les effets fâcheux des harmoniques supérieurs dans les circuits de transport offrant de la capacité. Il résulte des courbes relevées à l'Exposition par M. *Dobkévitch,* à l'aide d'un oscillographe de M. *Blondel* que, sauf de rares exceptions, les forces électromotrices développées sont très éloignées de la forme théorique, et présentent des déformations et des dentures qui révèlent, soit une disposition mal étudiée des pièces polaires des inducteurs, soit un sectionnement insuffisant de l'induit, soit des encoches trop ouvertes, soit une mauvaise répartition du bobinage dans les encoches, etc. Bien des progrès sont encore à réaliser dans la voie du perfectionnement des courbes de tension, et la diffusion des *graphes* (oscillographes, rhéographes, ondographes, etc.) dans les ateliers de construction ne pourra que contribuer à ces progrès, en révélant les défauts des machines et les améliorations apportées par les changements qu'on leur aura fait subir entre deux passages à la plate-forme.

Compoundage des alternateurs. — Dans la distribution de l'énergie, les alternateurs doivent fournir une différence de potentiel constante ou croissant avec la charge, inductive ou non inductive, du réseau. La réaction d'induit pour un courant donné est d'autant plus grande que le courant est plus déphasé par rapport à la force électromotrice, et, tandis que la chute de tension à pleine charge ne dépasse pas 5 p. 100 pour une dynamo shunt à courant continu, elle atteint quelquefois 15 p. 100 dans les alternateurs modernes. Le réglage s'est fait jusqu'ici à la main, en utilisant les indications des appareils de mesure. Il y aurait un grand intérêt à ce qu'il puisse être obtenu automatiquement, pour toutes les charges inductives ou non inductives. L'Exposition présentait deux solutions élégantes et originales de ce problème dont l'importance grandit

chaque jour : l'une présentée par M. Maurice Leblanc, l'autre par M. P. Boucherot, que nous signalerons plus loin.

Classification des alternateurs. — Jusqu'à ces dernières années, tous les alternateurs avaient pour caractère commun l'emploi d'un système inducteur, fixe ou mobile, à pôles *permanents,* et d'un système induit, avec déplacement relatif des deux systèmes, la fréquence étant définie par la vitesse angulaire et le nombre de pôles.

Les travaux de MM. *Maurice Leblanc, Boucherot, Marius Latour, Heyland,* etc., ont fait naître une classe nouvelle d'alternateurs, dans lesquels les pôles ne sont plus définis ni fixes dans le système inducteur, mais s'y déplacent systématiquement, et dont la fréquence n'est plus, par suite, un multiple entier de la vitesse angulaire.

Nous diviserons donc les alternateurs en deux groupes :

Le premier comprendra les *alternateurs synchrones* ou à pôles permanents; le second, beaucoup moins nombreux jusqu'ici, comprendra les *alternateurs asynchrones* ou à pôles circulants.

I. — Alternateurs synchrones.

Hétéropolaires (Flux alternant.)	Pôles pleins. Pôles feuilletés. Épanouissements feuilletés.
Homopolaires (Flux ondulant.)	Pôles pleins. Pôles feuilletés. Épanouissements feuilletés.
Réluctance variable	Ou à fer tournant. (Abandonnés.)
Compoundage des alternateurs.	

II. — Alternateurs asynchrones.

Hétéropolaires	Pôles continus.

I. — ALTERNATEURS SYNCHRONES OU À PÔLES PERMANENTS.

Induit. — Les induits à pôle et les induits-disques, d'un emploi très courant en 1889, ont complètement disparu en 1900. Il en est de même des enduits en anneau. Dans tous les alternateurs actuels, l'induit constitue un bobinage en tambour, comportant un nombre de bobines ou d'enroulements élémentaires proportionnel au *triple* du nombre de pôles.

Tous les induits sont dentés; les conducteurs sont logés dans des encoches ou rainures, ouvertes ou fermées, de forme rectangulaire avec angles arrondis, ou dans des trous de section circulaire ou rectangulaire avec extrémités arrondies.

Répartition du bobinage. — Les conducteurs constituant le bobinage sont logés dans des encoches dont le nombre minimum possible est de une par pôle et par phase, et le nombre maximum possible est égal à celui des conducteurs induits par pôle et par phase, en supposant une encoche par conducteur et par phase.

L'économie dans la construction conduit à employer le minimum d'encoches, la réduction de la dispersion, au contraire, conduirait à en mettre le plus grand nombre possible. En pratique, le nombre d'encoches par pôle et par phase varie entre 1 et 5. Au point de vue de la dispersion sous charges fortement inductives, on a tout intérêt à employer le plus grand nombre possible de rainures.

Nature du bobinage. — La plupart des bobinages sont faits avec des barres reliées entre elles par des développantes.

Lorsque l'enroulement ne comporte qu'une bobine par phase, celle-ci est à cheval sur deux pôles et constitue une bobine large.

Couplage des enroulements. — Toutes les barres ou bobines d'une même phase d'un alternateur sont reliées en tension, et constituent ainsi trois enroulements qui sont généralement couplés en *étoile*. Ce couplage évite les courants locaux intérieurs en cas de dyssymétrie dans la construction. On trouve cependant le couplage en *triangle* dans l'alternateur de la maison Ganz et Cie, de Budapest.

L'alternateur de la maison Siemens et Halske, de Vienne, est muni de deux enroulements distincts, l'un en triangle, l'autre en étoile, dans un but spécial que nous indiquerons plus loin.

Bobinages induits. — Dans les alternateurs à haute tension, les conducteurs induits sont souvent constitués par des fils passés dans des trous pratiqués dans les tôles; l'ensemble des fils de chaque bobine est séparé de la paroi intérieure du trou dans lequel ils pénètrent par un épais tube isolant sans couture qui assure un isolement parfait. L'emploi des armatures à trous et des tubes isolants pour les machines à haute tension a été appliqué dès 1893 par la maison Brown, Boveri et Cie.

Quant aux tubes isolants eux-mêmes, ils sont généralement en micanite ou en papier gomme-laqué. Ils dépassent la carcasse induite de plusieurs centimètres de chaque côté.

Inducteurs. — En laisssant de côté le caractère de classification basé sur la mobilité relative de l'inducteur et de l'induit, les inducteurs de dynamos peuvent se diviser en trois groupes distincts, d'après la nature de la variation du flux inducteur :

1° Les alternateurs à *flux tournant alternant,* ou *hétéropolaires,* les plus employés, dans lesquels le flux change de signe pour chaque bobine induite autant de fois par tour qu'il y a de pôles inducteurs;

2° Les alternateurs à *flux tournant ondulant,* ou *homopolaires,* dénommés improprement *alternateurs à fer tournant,* dans lesquels le flux traversant chaque bobine induite change de grandeur sans changer de signe. La bobine excitatrice peut être fixe ou mobile;

3° Les alternateurs à *réluctance variable*, ou à *fer tournant,* dans lesquels les variations

de flux, alternant ou ondulant, sont produites par le déplacement d'armatures en matière magnétique, mais n'ayant *aucune excitation* propre ou personnelle.

Ce système d'alternateurs, qui a été à la mode de 1890, époque à laquelle Kingdon le fit connaître, jusqu'en 1897, est aujourd'hui complètement abandonné. Il présentait le grave inconvénient de faire varier le flux à la fois dans l'inducteur et dans l'induit, ce qui obligeait à lameller tout le circuit magnétique, augmentait le prix de l'alternateur ainsi que la réaction d'induit. Aucun alternateur de ce système n'existait, croyons-nous, à l'Exposition de 1900.

Alternateur volant. — Pour augmenter le moment d'inertie de la partie tournante, et, par suite, réduire le coefficient d'irrégularité, certains constructeurs ont adopté un induit fixe bobiné à la surface extérieure et induit par une série de pôles inducteurs fixés sur une couronne extérieure formant volant. Grâce à cette construction, la plus grande partie de la masse des parties tournantes se trouve sur le plus grand diamètre.

Les pôles inducteurs sont boulonnés sur cette couronne, et la force centrifuge les y applique fortement, ce qui permet de réduire les dimensions de ces boulons, et assure également une grande solidité au bobinage inducteur.

Inducteurs à flux tournant alternant. — Les inducteurs à pôles alternés des alternateurs sont tantôt pleins, tantôt à épanouissements feuilletés, tantôt à pôles entièrement feuilletés.

Pôles pleins. — Les inducteurs à pôles pleins sont généralement en acier et fixés sur une carcasse tantôt en fonte, tantôt en acier. Leur emploi se justifie dans les alternateurs triphasés à flux tournant alternant par la faible réaction d'induit dont ils sont le siège. L'emploi de pôles pleins facilite la construction et le couplage en parallèle, par suite des courants de Foucault dont ils sont le siège pendant les oscillations pendulaires, oscillations qu'ils tendent à amortir.

Pour faciliter le réglage par l'excitation, il y a intérêt à ne pas employer de saturations trop élevées, afin de pouvoir compenser la réaction d'induit à pleine charge.

Les pôles pleins sont fixés par des boulons traversant complètement la jante et ont une partie encastrée dans cette jante, en vue de réduire la réluctance du joint.

Pour éviter des variations de flux trop brusques et les courants de Foucault qu'elles entraîneraient dans les inducteurs, les encoches de l'induit sont arrondies près du bord ou sont constituées par des trous.

Épanouissements polaires feuilletés. — Ce dispositif intermédiaire tend à disparaître. Il n'est justifié que par l'emploi d'induits à rainures permettant la construction des bobines sur gabarit, en vue d'éviter les courants de Foucault. MM. Kolben et Cie, de Prague, qui exposaient un alternateur de ce type, fixent les tôles sur le pôle en ménageant des queues d'aronde sur ces tôles et en coulant le pôle avec l'épanouissement en place dans le moule.

Pôles feuilletés. — Leur emploi permet celui d'induits à rainures, faciles à construire sur gabarit; il permet de calculer plus facilement les alternateurs.

Les pôles feuilletés facilitent les oscillations pendulaires, auxquelles on peut remédier par l'emploi des amortisseurs de M. Maurice Leblanc. Ils sont d'un prix plus élevé que les pôles pleins, et les rainures dans l'induit facilitent le développement d'harmoniques, très nuisibles lorsque la capacité des lignes est assez grande, sur les réseaux à câbles concentriques, par exemple. La construction est aussi plus coûteuse que celle des pôles pleins.

Les pôles pleins et les pôles feuilletés présentent donc respectivement des avantages et des inconvénients qui justifient leur emploi ou leur rejet, suivant les propriétés que doit présenter l'alternateur à réaliser.

Inducteur à flux ondulant. — Les alternateurs à flux ondulant ou alternateurs homopolaires permettent l'emploi d'une bobine d'excitation immobile. La partie mobile de l'inducteur est ainsi rendue plus mécanique et peut atteindre des vitesses tangentielles élevées (jusqu'à 100 mètres par seconde[1]). Par contre, le système inducteur est difficilement remplaçable, les fuites magnétiques sont grandes, les entrefers inégaux produisent des attractions considérables, et les forces électromotrices développées sont dyssymétriques et s'éloignent beaucoup de la sinusoïde.

Les pièces polaires sont tantôt pleines, tantôt avec épanouissements feuilletés, tantôt entièrement feuilletées. Les pièces polaires pleines sont venues de fonte avec le moyeu ou la jante du volant.

Les épanouissements polaires feuilletés sont fixés dans des rainures trapézoïdales recevant des parties en queue d'aronde ménagées sur les tôles. Les pôles feuilletés sont fixés par des clavettes à section trapézoïdale sur lesquelles sont empilées les tôles présentant des rainures de même forme. Ces clavettes sont retenues à la jante par des boulons ou des vis traversant complètement cette jante.

On chanfreine les bords des pièces polaires en vue d'obtenir une répartition plus adoucie du flux magnétique, et de rapprocher la force électromotrice développée de la forme sinusoïdale.

Bobinages inducteurs. — Lorsque les inducteurs sont fixes, il n'y a aucun inconvénient à employer des bobines en fil rond. Il n'en est pas de même lorsque les bobines sont montées sur des inducteurs à grande vitesse tangentielle, ce qui est le cas spécialement dans les générateurs volants. Pour éviter toute déformation de ces bobines, il faut les rendre très rigides. C'est ce qui a amené MM. Brown, Boveri et Cie à adopter pour ces dernières les bandes de cuivre roulées à plat et présentant la plus grande dimension de leur section dans un plan perpendiculaire à l'axe du cylindre d'enroulement. Les différentes spires ainsi formées sont isolées l'une de l'autre après coup, et, une fois terminée, la bobine présente une rigidité à toute épreuve.

Ce dispositif est actuellement adopté par bon nombre de constructeurs.

[1] Par suite de l'immobilité du cuivre inducteur, on donne quelquefois à ces alternateurs le nom d'*alternateurs à fer tournant*. On a vu que ce nom s'applique, en toute rigueur, à une catégorie d'appareils aujourd'hui abandonnés et qui constituent les alternateurs à réluctance variable.

Amortisseurs de MM. Hutin et Leblanc. — Les circuits amortisseurs de MM. Hutin et Leblanc sont des dispositifs appliqués sur les pièces polaires des inducteurs des alternateurs à courants alternatifs simples, en vue de réduire la réaction d'induit et de maintenir le synchronisme dans la marche en parallèle, malgré le coefficient d'irrégularité des moteurs actionnant ces alternateurs.

Dans les dynamos à courants polyphasés avec enroulement polyphasé sur le circuit induit, le flux dû aux courants de l'induit est un flux constant tournant dans l'espace avec la même vitesse que le flux inducteur et dans le même sens que lui; il est donc immobile par rapport aux circuits amortisseurs qui sont, par suite, sans aucune action sur lui.

Dans les induits à courant alternatif simple, le flux dû au courant induit est, au contraire, un flux alternatif, lequel peut se décomposer en deux flux, tournant tous deux avec une vitesse égale à celle correspondant au synchronisme, mais en sens contraires.

Grâce à cette décomposition, on voit que la force magnétomotrice totale de l'induit peut être considérée comme résultant de la composition de deux forces magnétomotrices constantes égales, de valeur chacune, au facteur 4π près, à la moitié de la valeur maxima et tournant l'une dans le même sens que l'inducteur et avec la même vitesse, l'autre en sens contraire.

La première reste fixe par rapport à l'inducteur et, par suite, aux circuits amortisseurs; le flux qu'elle produit n'induit donc aucune force électromotrice dans ces circuits et partant ne sera pas affecté par leur présence. La seconde, au contraire, se déplaçant par rapport aux amortisseurs avec une vitesse double de celle du synchronisme, tend à engendrer un flux induisant dans ces circuits des forces électromotrices de fréquence double de celles fournies par l'alternateur, qui produiront des courants donnant naissance à une force magnétomotrice pratiquement égale et opposée à celle de la seconde force magnétomotrice considérée. En réalité, la partie correspondante du flux induit sera sensiblement annulée, car il ne passe à travers les amortisseurs que le flux nécessaire pour produire la tension perdue dans la résistance ohmique de ceux-ci, tension qui peut être rendue très faible.

L'excitation des inducteurs, outre la production du flux nécessaire pour avoir la tension aux bornes à vide dans l'induit, n'a donc plus qu'à équilibrer la force magnétomotrice du premier champ tournant considéré, en dehors, bien entendu, des fuites magnétiques.

Au point de vue de la synchronisation initiale et de la stabilité du synchronisme dans la marche en parallèle, les amortisseurs constituent à eux seuls l'induit d'un moteur ou d'une génératrice asynchrone; lorsque les alternateurs tendent à tomber hors de phase, les circuits amortisseurs réagissent fortement, et la différence de vitesse instantanée est limitée à un faible glissement de l'un des alternateurs par rapport à l'autre, ce qui permet le raccrochage des machines.

L'emploi des amortisseurs pour le fonctionnement en parallèle des alternateurs actionnés directement a aussi pour effet d'augmenter la régularité de l'ensemble, par

suite des couples puissants qui s'opposent aux variations instantanées de la vitesse angulaire pendant chaque tour.

ALTERNATEURS HÉTÉROPOLAIRES OU À FLUX ALTERNANT.

ALTERNATEURS À PÔLES INDUCTEURS PLEINS.

ALTERNATEURS À INDUIT DENTÉ.

ALTERNATEURS À INDUIT FIXE.

Ganz et Cie (Budapest). — Triphasé. 1 200 kilovoltampères. Inducteur sur volant en fonte coulé en deux parties. Pôles tronconiques en acier encastrés dans la jante et boulonnés sur celle-ci. Bobinage en bande de cuivre sur champ (fig. 32 et 33).

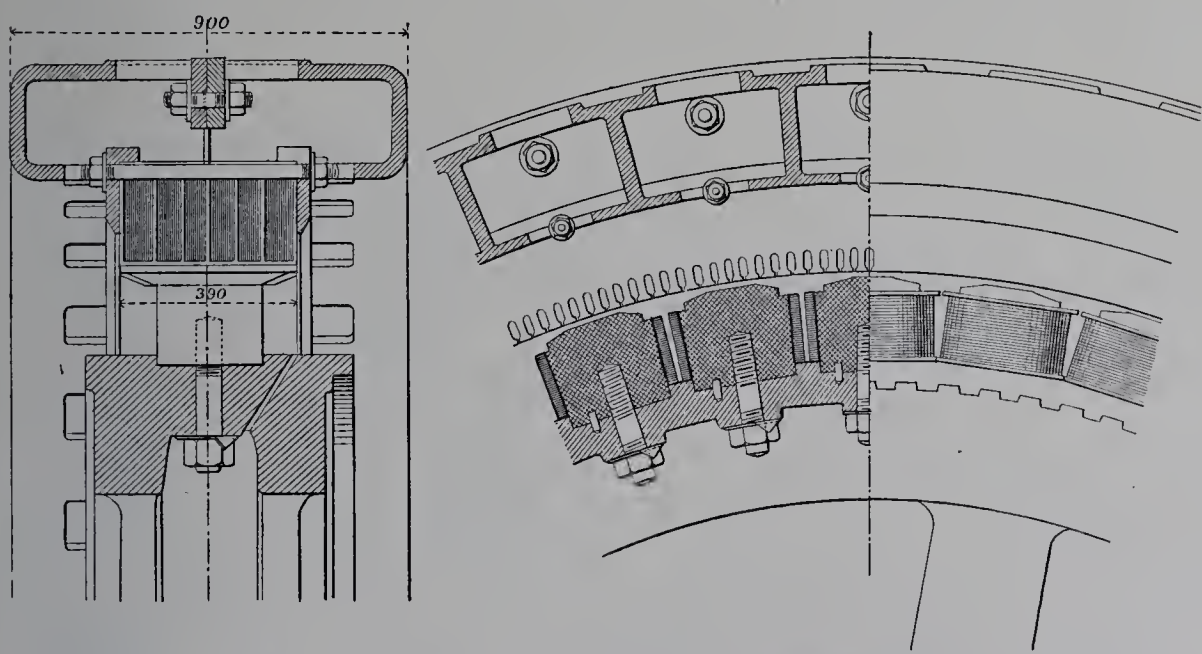


Fig. 32. — Alternateur triphasé de 1 200 kilovoltampères de MM. Ganz et Cie, de Budapest. (Groupe autrichien.)

Carcasse d'induit constituée par deux anneaux en forme d'⊔ couché, serrant entre eux les tôles induites. Entrefer réglable par des vis calantes. Induit à encoches légère-

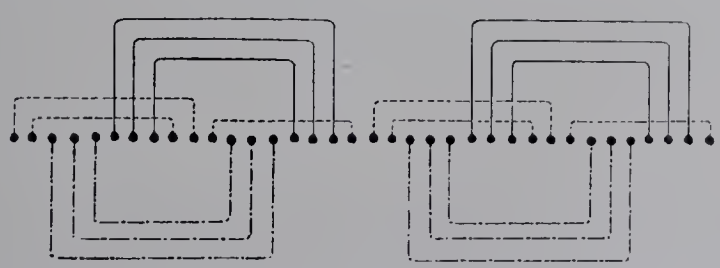


Fig. 33. — Diagramme de l'enroulement de l'alternateur Ganz et Cie. (Groupe autrichien.)

ment ouvertes, 9 par pôle. Fil en toron de 19 brins. Pour diminuer les harmoniques, le bobinage est réparti spécialement, comme le représente la figure 33. La force

électromotrice développée à vide, grâce à ce bobinage, est très sensiblement sinusoïdale (fig. 34).

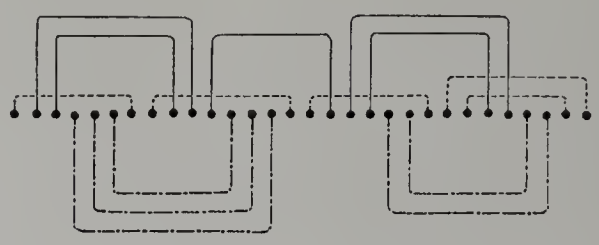


Fig. 34. — Diagramme de l'enroulement de l'alternateur Ganz et Cie. (Groupe hongrois.)

Un second alternateur de même puissance n'en diffère que par des détails et un mode spécial de bobinage, représenté figure 34, et comportant 15 encoches par paire de pôles. Cet enroulement assure également une force électromotrice sinusoïdale.

Schneider et Cie (Le Creusot). — Triphasé. 1 400 kilovoltampères. Inducteur volant en fonte à 8 bras doubles, en deux parties réunies par des frettes d'acier forgé. Jante en forme d'⊔ fixée sur les bras par des frettes en acier, et boulons d'assemblage. Pôles inducteurs de section circulaire en acier coulé, retenus sur la jante par une vis. Bobinage inducteur sur champ (fig. 35).

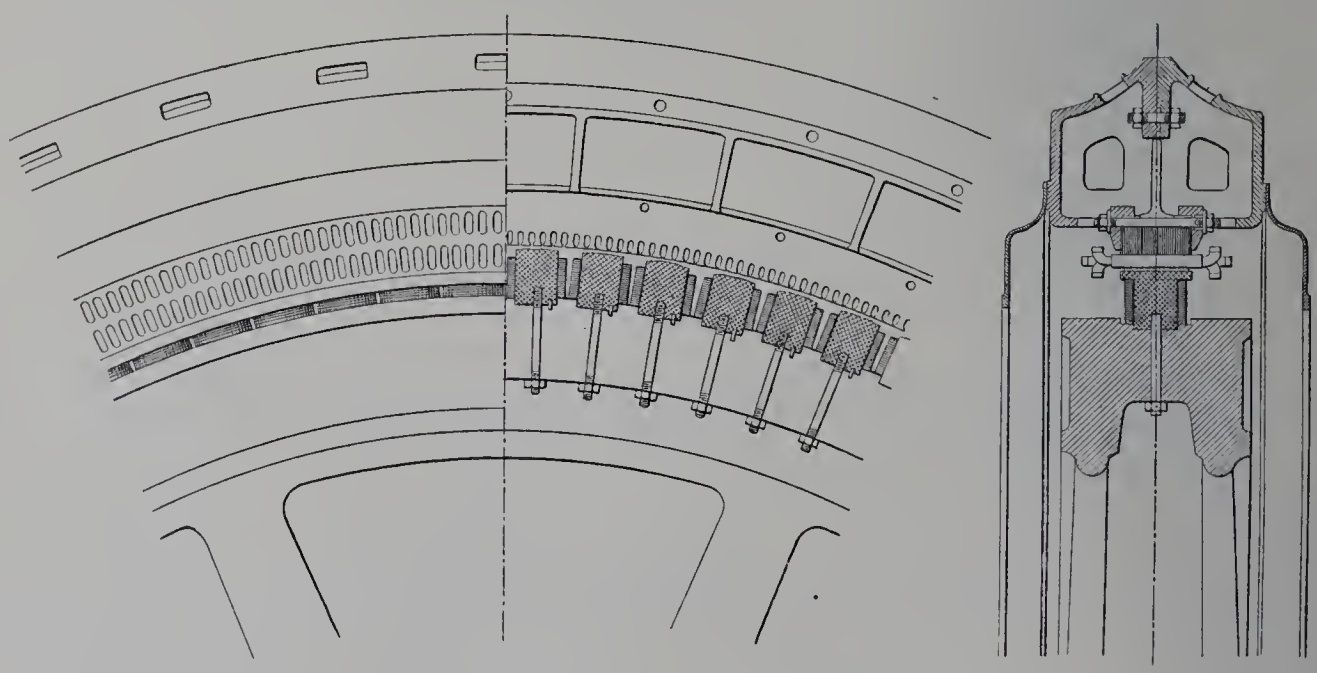


Fig. 35. — Alternateur de 1 400 kilovoltampères de MM. Schneider et Cie.

Induit fixe formé de deux demi-couronnes en fonte emprisonnant les tôles de l'induit formant quatre paquets. Encoches à demi fermées (fig. 36). Sur les 504 encoches,

12 sont vides pour faciliter le démontage de la couronne supérieure. Câble en cuivre laminé (fig. 36).

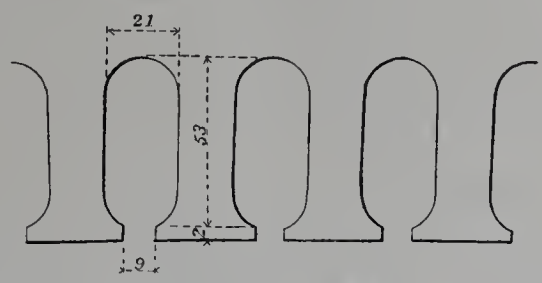


Fig. 36. — Forme des encoches de l'alternateur de MM. Schneider et Cie. (Demi-grandeur.)

Compagnie internationale d'électricité de Liège. — Triphasé. 1 000 kilovoltampères. Inducteurs montés sur la jante d'un volant très lourd. Jante en quatre parties, réunies au moyeu par deux bras doubles pour chaque partie. Pôles légèrement encastrés et vissés. Enroulement en fil carré (fig. 37).

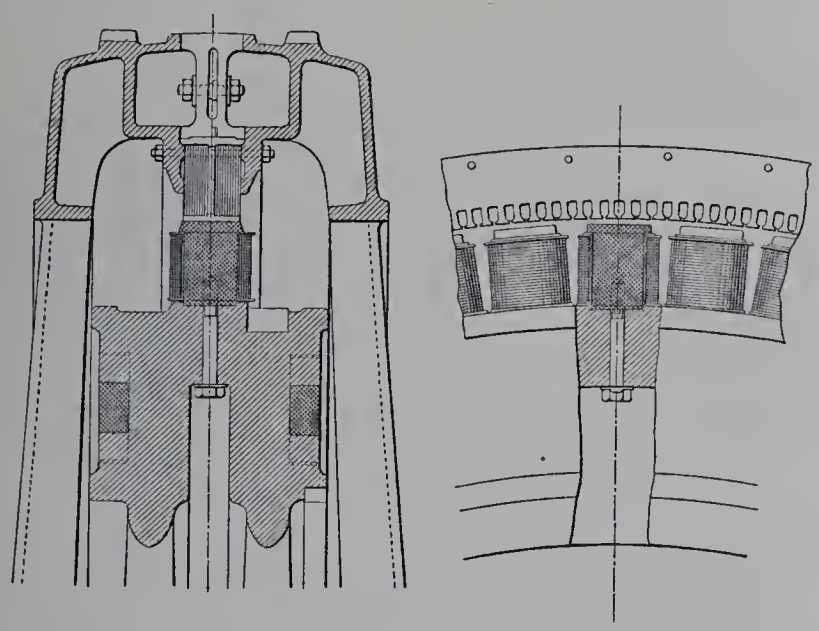


Fig. 37. — Alternateur de 1 000 kilovoltampères de la Compagnie internationale d'électricité, de Liège.

Induit forme caisse cylindrique en quatre parties boulonnées. Tôles induites serrées entre les couronnes de la caisse cylindrique supportée par des anneaux de fonte reliés à des bras s'appuyant sur deux supports qui entourent l'arbre. Rainures rectangulaires à angles arrondis, légèrement fermées. Bobines identiques enchevêtrées, d'une largeur égale au pas polaire.

Compagnie générale électrique de Nancy. — Triphasé. 450 kilovoltampères. Inducteur formé par volant en acier coulé, en deux parties, relié au moyeu par 8 bras doubles à section en forme de T. Pôles en acier coulé, vissés sur la jante du volant. Largeur des pôles égale aux deux tiers du pas polaire. Bobinage des inducteurs sur champ.

Induit fixe formé d'une caisse très légère en fonte en quatre parties. Cette carcasse

porte deux anneaux venus de fonte avec elle entre lesquels se fixent les tôles induites par boulons traversant les tôles dans des trous ouverts pratiqués à la surface extérieure des tôles. Des tirants en fer forgé aboutissant à un collier et réglés par des écrous donnent à la carcasse de la rigidité mécanique et un aspect de légèreté. Encoches légèrement ouvertes et enroulement isolé du fer par des tubes en micanite.

Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget, de Vesteras (Suède). — Triphasé. 270 kilovoltampères. Inducteur constitué par un volant en fonte claveté sur l'arbre avec couronne en acier rapportée sur laquelle sont répartis les noyaux polaires venus de fonte avec la couronne. Ces pôles ont une section rectangulaire terminée par deux demi-cercles. Épanouissements polaires rapportés. Bobinage sur champ (fig. 38).

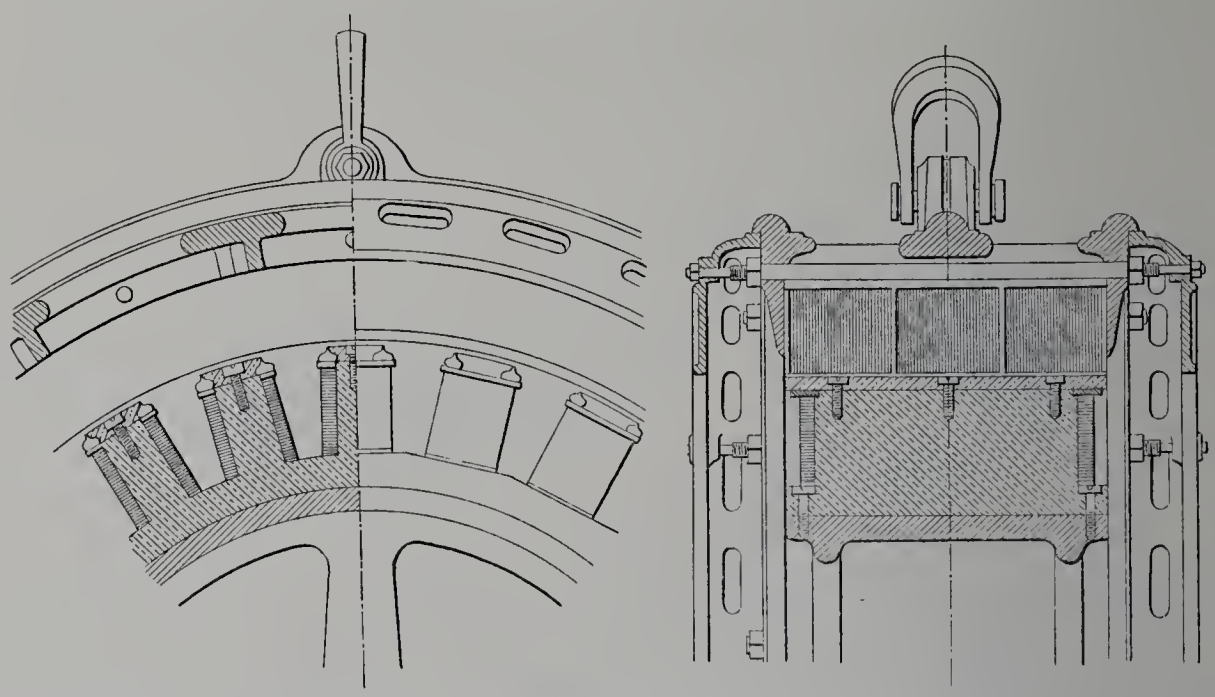


Fig. 38. — Alternateur de 270 kilovoltampères de l'Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget, de Vesteras.

Carcasse induite formée de deux cylindres en fonte percés d'ouverture et portant deux disques entre lesquels sont serrées les tôles induites. Encoches fermées, représentées figure 39. L'enoulrement induit est fait par des barres, à raison de deux par encoche

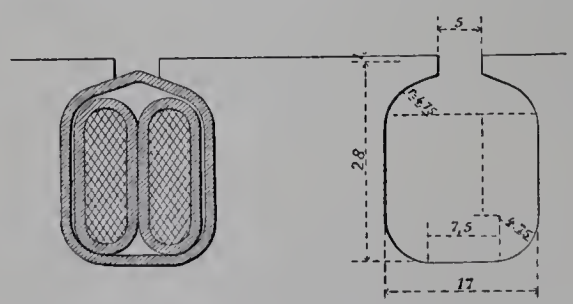


Fig. 39. — Encoches de l'alternateur de l'Allmänna Svenska Elektriska, de Vesteras.

et réunies par des pièces en V. La figure 38 représente le schéma de cet enroulement spécial.

Vereinigte Elektricitäts Gesellschaft (Vienne). — Triphasé. 220 kilovoltampères. Inducteur volant en fonte en une seule pièce avec pôles en acier rapportés sur la jante, sans encastrement, maintenus par des vis. Enroulement inducteur sur champ, sur *bande nue,* sans autre isolement que l'air entre les spires (fig. 40).

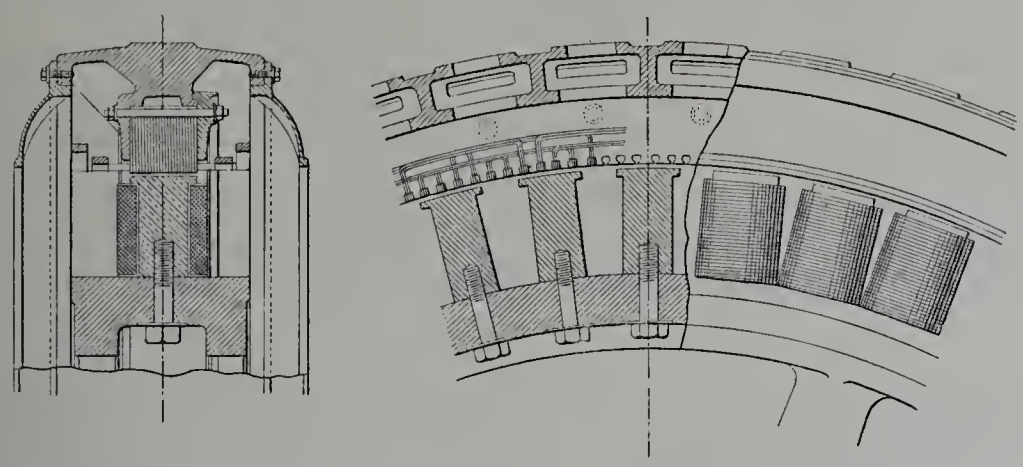


Fig. 40. — Alternateur de 220 kilovoltampères de la Vereinigte Elektricitäts Actiengesellschaft, de Vienne.

Carcasse induite cylindrique en fonte en deux parties. Les tôles sont serrées entre un anneau venu de fonte avec la carcasse et des segments rapportés, maintenus par des boulons. Enroulement dans encoches rectangulaires à angles très arrondis. Entrefer réglable.

Elektricitäts-Actien-Gesellschaft, vormals Lahmeyer (Francfort-sur-le-Mein). — Triphasé. 1 000 kilovoltampères. Caractérisé par l'emploi d'inducteurs fortement saturés.

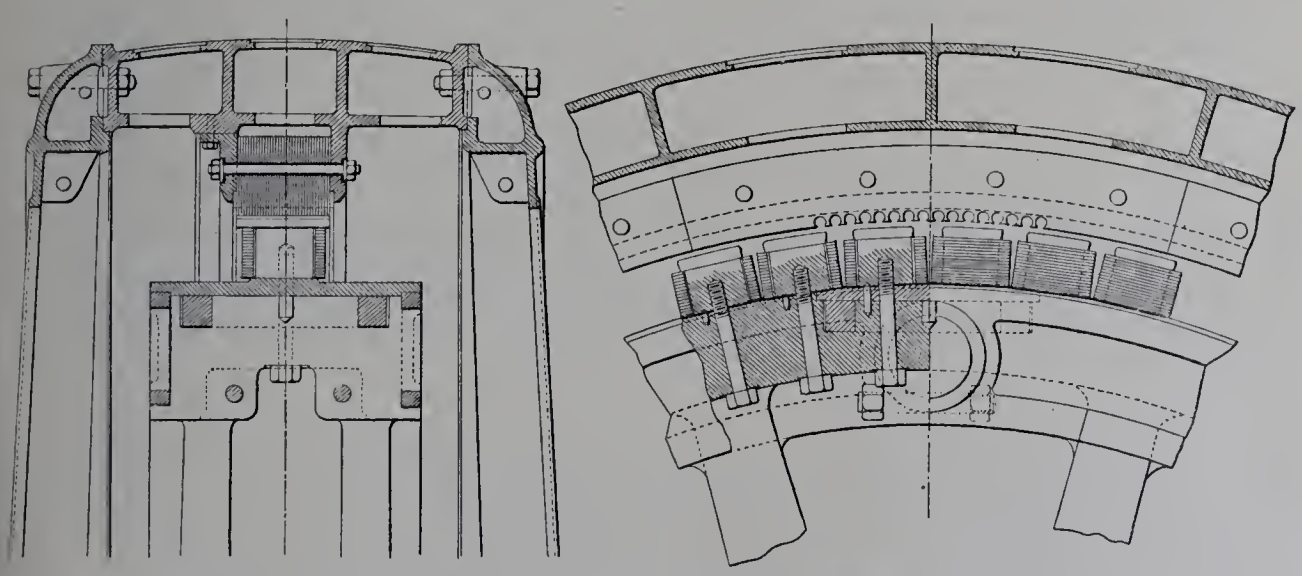


Fig. 41. — Alternateur de 1 000 kilovoltampères de MM. Lahmeyer et Cie.

Inducteur volant en quatre parties boulonnées et frettage des parties boulonnées et des jantes. Noyaux polaires de section circulaire en acier coulé boulonnés sur la jante.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Épanouissements polaires en fer forgé. Bobinage sur champ, isolement au papier mâché (fig. 41, p. 65).

Carcasse induite forme caisse cloisonnée en quatre parties. Cette caisse porte un anneau sur lequel s'appuient les tôles induites serrées par des cornières cintrées fixées à la caisse par des boulons isolés. Enroulement induit dans des encoches de forme circulaire légèrement ouvertes.

F. Krízik (Prague). — Triphasé. 215 kilovoltampères. Inducteur volant en fonte en deux parties réunies par 4 bras doubles. La jante est en ⊔, à branches courtes.

Pôles circulaires en acier coulé boulonnés sur la jante. Pièces polaires rectangulaires à bords légèrement arrondis. Bobinage sur champ.

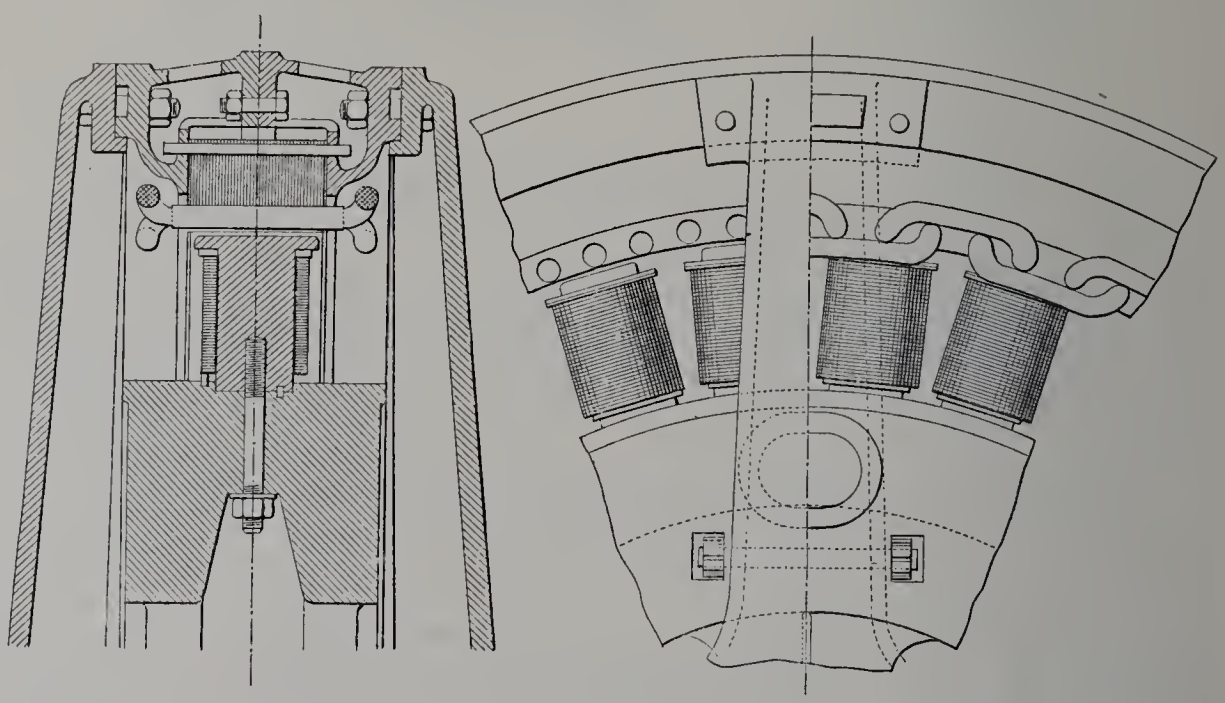


Fig. 42. — Alternateur de 215 kilovoltampères de H. F. Krizik, de Prague.

Induit formé de deux caisses en deux parties, boulonnées ensemble et serrant l'anneau de tôles induites. L'induit peut se déplacer en tournant autour de son axe pour les visites et les réparations. Bobinage dans rainures circulaires légèrement ouvertes (fig. 42).

Elektricitäts Aktiengesellschaft, vorm. Schuckert (Nuremberg). — Triphasé. 850 kilovoltampères. Inducteur, volant en fonte en deux parties, avec 8 bras en double T. Assemblage par des frettes en fer forgé posées à chaud. Largeur du pôle est égale à 0,75 du pas. Pôles en acier fixés sur la jante par deux boulons. Bobinage en câble à section rectangulaire enroulé sur plat.

Induit formé d'une carcasse en fonte en quatre parties, deux couronnes s'emboîtant l'une dans l'autre et serrées par des boulons. Pour empêcher la déformation, des tirants

radiaux donnent de la rigidité à la carcasse. Induit visitable par rotation autour de l'axe. Bobinage dans encoches légèrement ouvertes. Une bobine de 9 spires par pôle et par phase (fig. 43).

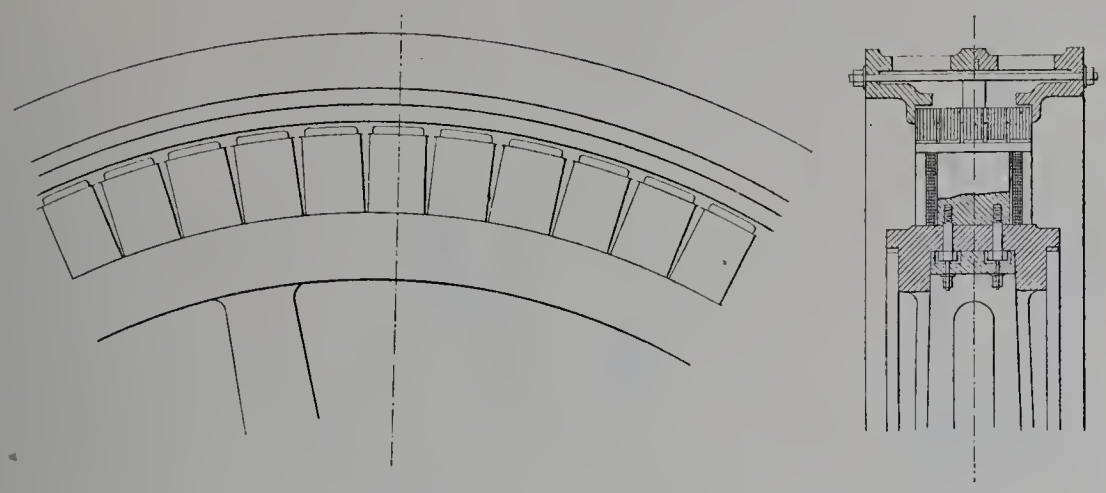


Fig. 43. — Alternateur de 850 kilovoltampères de M. Schuckert et Cie.

ALTERNATEURS À INDUIT MOBILE.

Dans ce groupe figurait un alternateur *auto-excitateur* de MM. Siemens et Halske, de Vienne, qui sera décrit avec les alternateurs spéciaux, et un alternateur ordinaire de la Compagnie de Fives-Lille.

Compagnie de Fives-Lille. — Triphasé. 175 kilovoltampères. Carcasse inductrice fixe en acier coulée en deux parties. Noyaux polaires de section circulaire venus de fonte avec la carcasse, avec épanouissements polaires en acier, de forme carrée.

Carcasse de l'induit mobile en fonte en deux parties, maintenues par un anneau en fer logé dans une rainure pratiquée sur la carcasse. Tôles induites fixées sur ce support et serrées entre deux disques dentés, l'un venu de fonte avec la jante du support, l'autre formé de segments vissés. Induit denté à encoches circulaires légèrement ouvertes. Enroulement à barres réunies par des développantes en V (fig. 44, p. 68).

ALTERNATEURS À INDUITS À TROUS.

ALTERNATEURS À INDUIT FIXE.

J.-J. Rieter et Cie (Winterthur). — Triphasé. 400 kilovoltampères. Inducteur couronne en acier coulé, maintenue par des boulons entre deux plateaux en fonte clavetés sur l'arbre. Pôles inducteurs en fer forgé, cylindriques et légèrement encastrés dans la

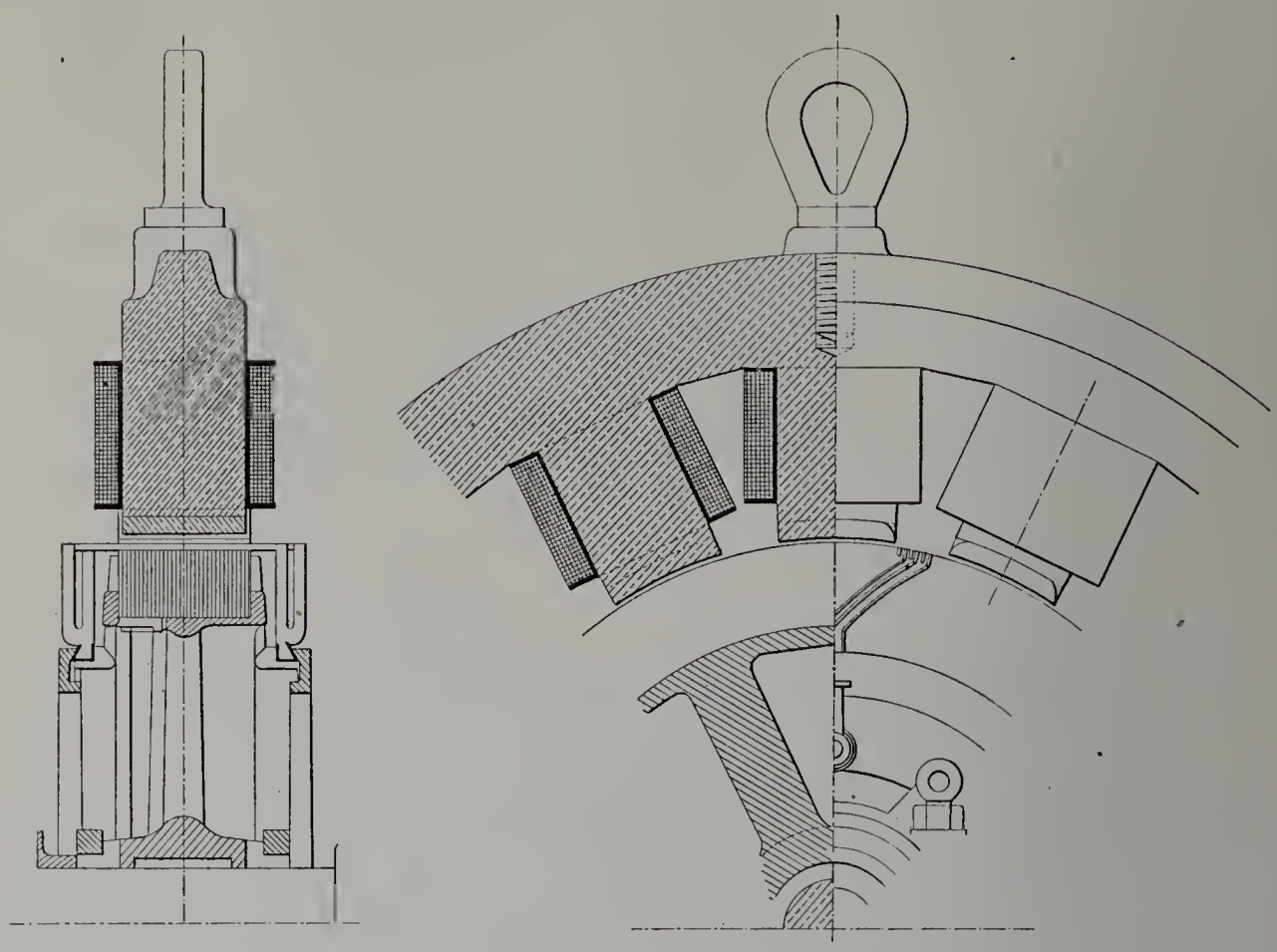


Fig. 44. — Alternateur de 175 kilovoltampères de la Compagnie de Fives-Lille.

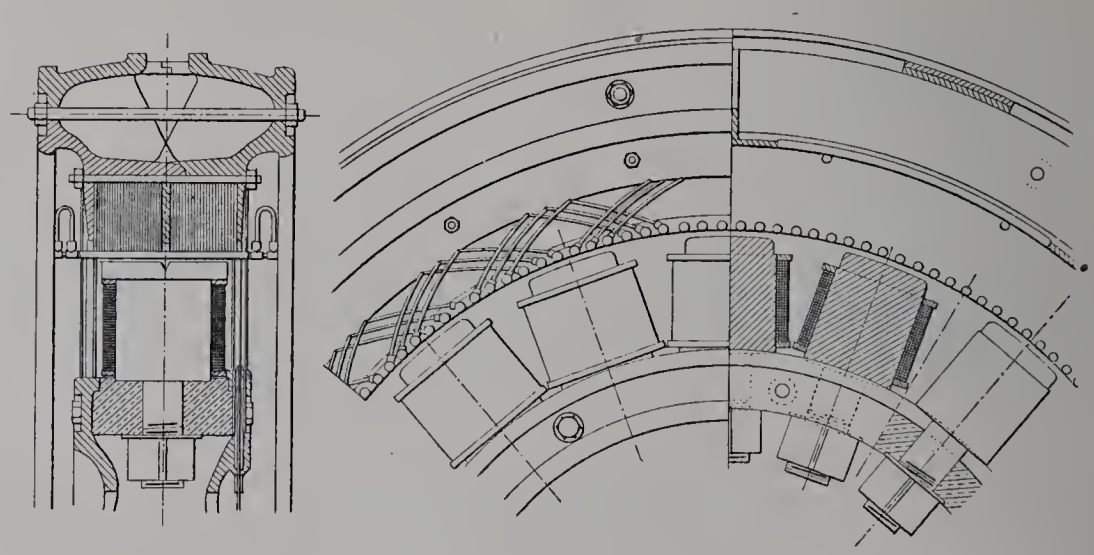


Fig. 45. — Alternateur de 400 kilovoltampères de MM. J.-J. Rieter et Cie, de Winterthur.

couronne, terminés par partie cylindrique de diamètre plus faible qui traverse complètement la jante. Épanouissements polaires rectangulaires. Bobinage sur champ (fig. 45).

Carcasse d'induit formée de deux couronnes en fonte en forme d'⊔ et s'emboîtant l'une dans l'autre. Induit à trous circulaires. Trois trous par pôle et par phase.

Société « l'Éclairage électrique ». — Triphasé. 1 200 kilovoltampères. Établi par M. Labour pour fonctionner sous un facteur de puissance faible (0,5 et au-dessous). Inducteur volant ordinaire en fonte portant la couronne inductrice fixée par des nervures radiales. Volant et couronne en deux parties assemblées par des agrafes, des boulons et des frettes circulaires à l'endroit des joints. Pôles en acier doux de section rectangulaire, élargis à la partie inférieure, boulonnés sur la couronne. Bobines en fil rond sur carcasses métalliques avec joues en bois (fig. 46).

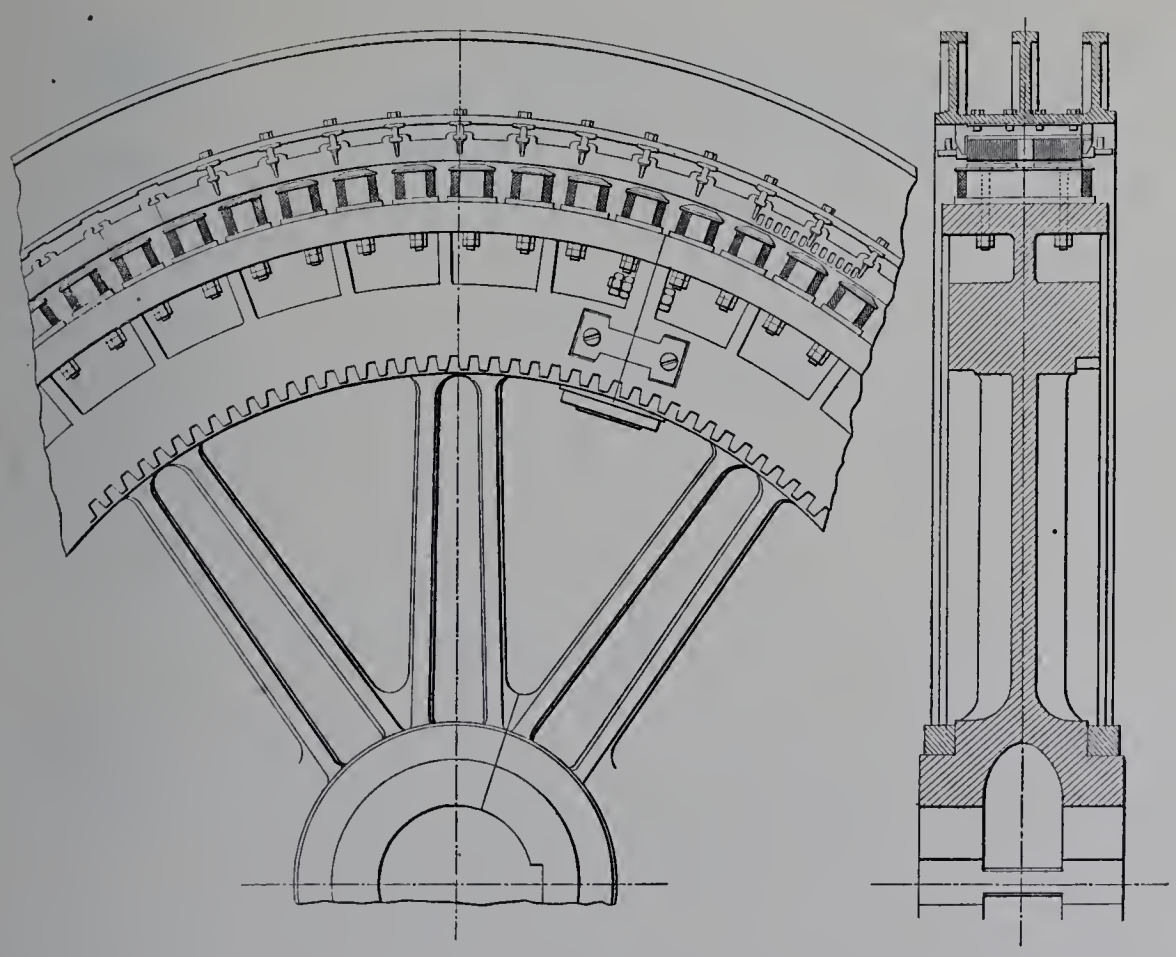


Fig. 46. — Alternateur de 1 200 kilovoltampères de la Société « l'Éclairage électrique ».

Carcasse induite en deux parties forme un cylindre en fonte. La partie inférieure porte des pattes par lesquelles elle repose sur deux plaques de fondation, une troisième patte avec plaque à la partie inférieure permet de faire glisser longitudinalement l'induit pour dégager les deux pièces et permettre les visites. La couronne induite en tôle est supportée par des bras en bronze qui laissent les couronnes de tôle complètement dans l'air. Bonne ventilation. Trous en forme de rectangle dont le côté tourné vers l'inducteur forme une ligne brisée à angle très obtus. Six trous par pôles. Bobinage en câble.

Électricité et hydraulique (Charleroi). — Triphasé. 760 kilovoltampères. Inducteur en fonte en deux parties boulonnées et maintenues par 8 frettes posées à chaud. Pôles en acier coulé de section elliptique, non encastrés dans la jante et vissés. Épanouissements polaires venus de fonte avec les pôles rectangulaires et légèrement arrondis. Bobinage formé d'une bande de cuivre nu, roulée à plat sur un manchon isolant, isolée par de la toile.

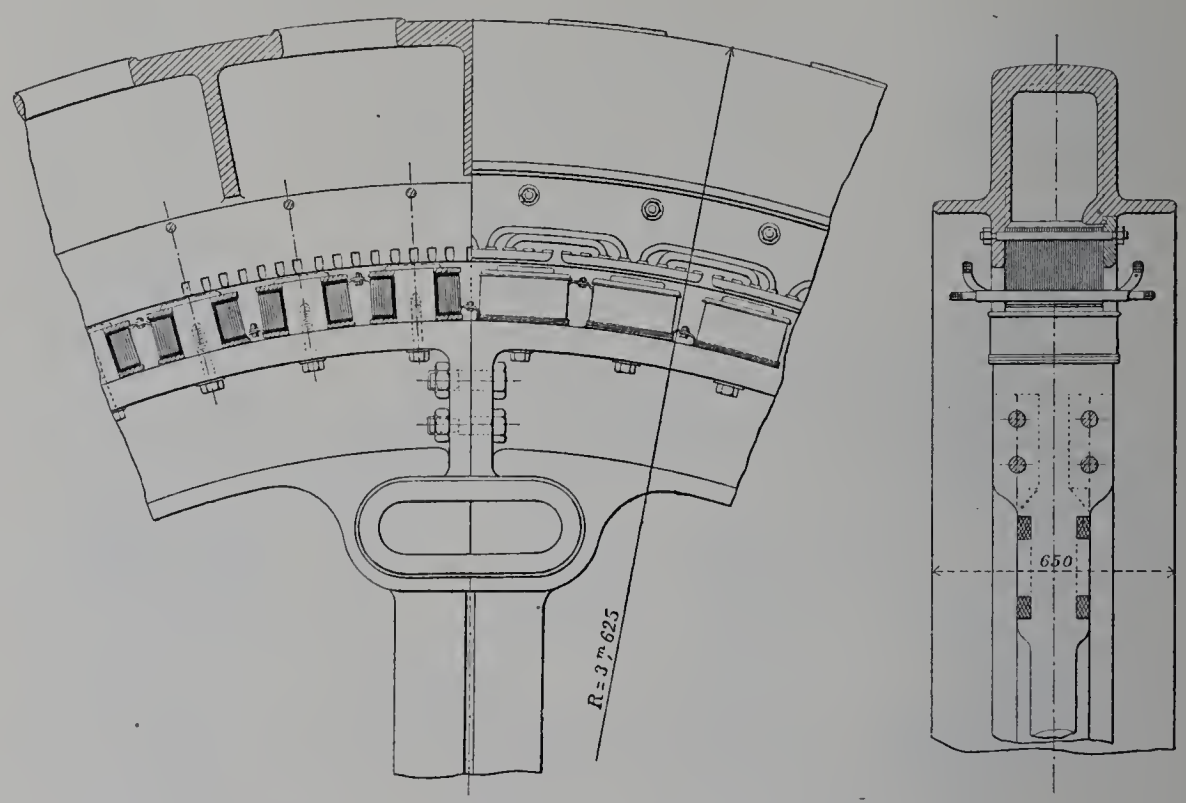


Fig. 47. — Alternateur de 760 kilovoltampères de la Société «Électricité et hydraulique», de Charleroi.

Carcasse induite en forme d'⊔ renversé avec larges rebords latéraux. Une branche de l'⊔ prolongée sert de support à la couronne induite, laquelle est serrée entre l'anneau et un second anneau en plusieurs parties, en acier forgé, portant un rebord logé dans une rainure circulaire pratiquée dans la seconde branche de l'⊔.

Tôles induites isolées au vernis et montées à joints alternants, serrées par des boulons.

Trous formés d'un rectangle formant demi-cercle du côté de l'entrefer.

Une bobine par paire de pôles et par phase occupant 4 trous. Enroulement en câbles couplés en parallèle dans des tubes en micanite (fig. 47).

Brown, Boveri et Cie (Baden). — Triphasé. 1 760 kilovoltampères. Inducteur en fonte en deux parties assemblées le long de deux bras par quatre boulons. Jante en ⊔, porte les pôles inducteurs en fer rapportés sur des fraisures et boulonnés. Noyaux polaires circulaires. Épanouissements rectangulaires légèrement arrondis, dont la largeur égale environ les deux tiers de celle du pas. Bobinage sur champ.

Carcasse de l'induit en fonte supportée par des bras rayonnants qui font reposer la machine sur deux anneaux venus de fonte avec les paliers du moteur à vapeur. La carcasse peut tourner à volonté autour de ces anneaux pour visites ou réparations. Le centrage obtenu au tournage reste exact. La carcasse est constituée par deux flasques qui

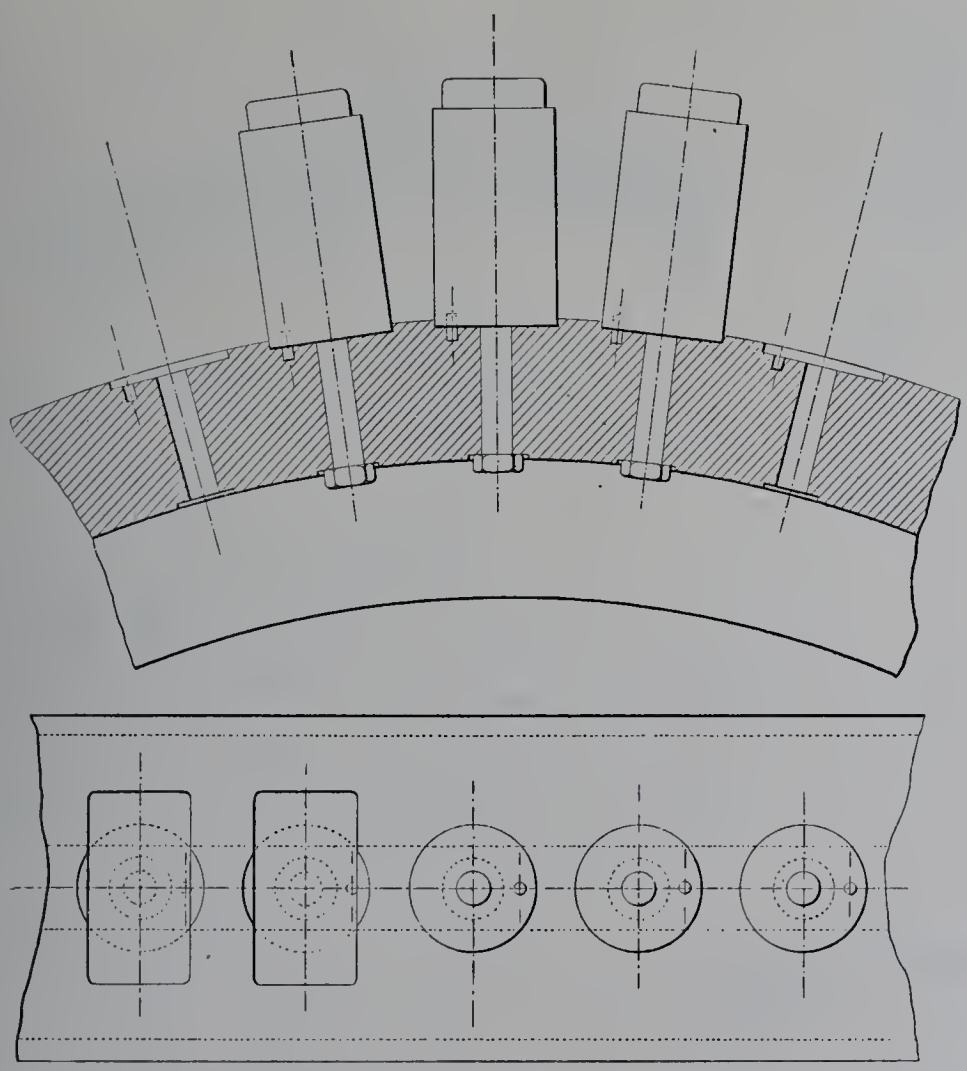


Fig. 48. — Alternateur Brown Boveri et Cie.
Montage des pôles inducteurs.

viennent serrer les tôles de l'induit. Enroulement de l'induit fait dans trous oblongs. Six trous par pôle et une bobine par paire de pôles (fig. 48).

Grammont et Cie (Pont-de-Cheruy). — Triphasé. 860 kilovoltampères. Alternateur à excitation spéciale de M. Maurice Leblanc décrite plus loin. Inducteur volant en deux parties assemblées par quatre boulons et quatre agrafes. Moyeu fretté par deux anneaux en fer. Noyaux en acier coulé, de section circulaire, avec épanouissement polaire rectangulaire boulonnés sur la jante. Bobinage sur champ.

Carcasse induite en deux parties formée d'un cylindre en fonte à trois nervures. Tôles assemblées et maintenues par des cornières en acier coulé et des boulons de serrage.

Bobinage dans des trous rectangulaires et semi-cylindriques. Trois trous par pôle, une bobine par paire de pôles et par phase. Bobinage en câbles (fig. 49).

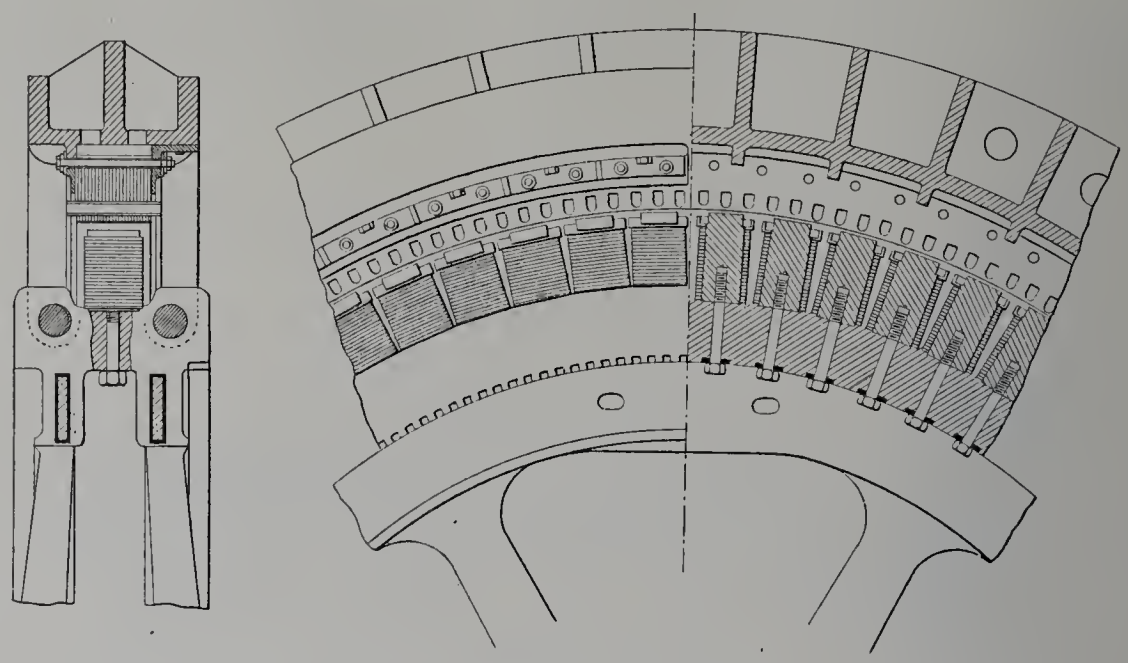


Fig. 49. — Alternateur de 860 kilovoltampères de M. A. Grammont, à Pont-de-Cheruy.

J.-J. Rieter et Cie (Winterthur). — Triphasé. 700 kilovoltampères. Caractérisé par un inducteur mobile *extérieur* à l'induit fixe.

Inducteur volant en deux parties assemblées. Carcasse supportant les inducteurs est en porte-à-faux. Pôles inducteurs en acier coulé, de section circulaire, pièces polaires rectangulaires à bords arrondis fixées par des vis sur les pôles. Bobinage en fil de section carrée (fig. 50).

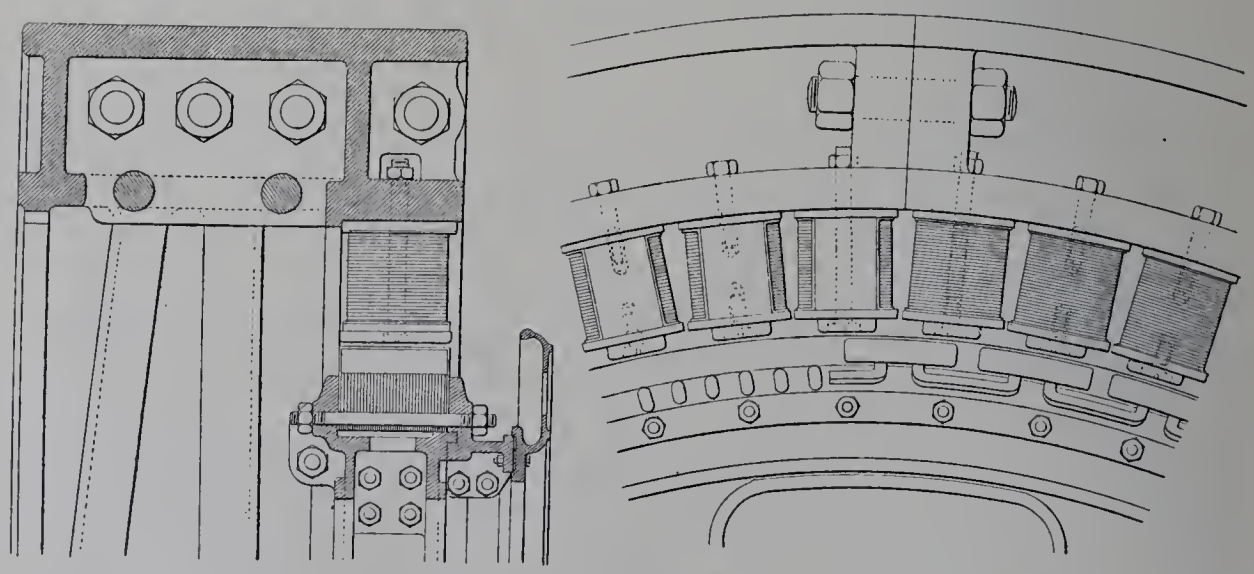


Fig. 50. — Alternateur de 700 kilovoltampères de MM. J.-J. Rieter et Cie, de Winterthur.

Induit boulonné sur la plaque de fondation du moteur. Carcasse induite forme caisse annulaire en fonte recevant les tôles induites à sa partie extérieure. Carcasse supportée

par une étoile à 12 bras mobiles autour d'un support, permettant de faire tourner l'induit pour visites ou réparations. Trous rectangulaires avec demi-cercle aux extrémités. Trois trous par pôle, une bobine par pôle et par phase. Bobinage en fils ronds groupés en parallèle.

Brown, Boveri et Cie. — Triphasé. 410 kilovoltampères. Comme le précédent, cet alternateur est caractérisé par un inducteur mobile *extérieur*. Pôles inducteurs fixés à l'intérieur d'un volant à large jante reliée au moyeu par des bras doubles. Pôles inducteurs en fer boulonnés sur la jante. Épanouissements polaires rectangulaires à bords légèrement arrondis. Largeur du pôle égale à 0,6 du pas polaire. Bobinage en fil rond.

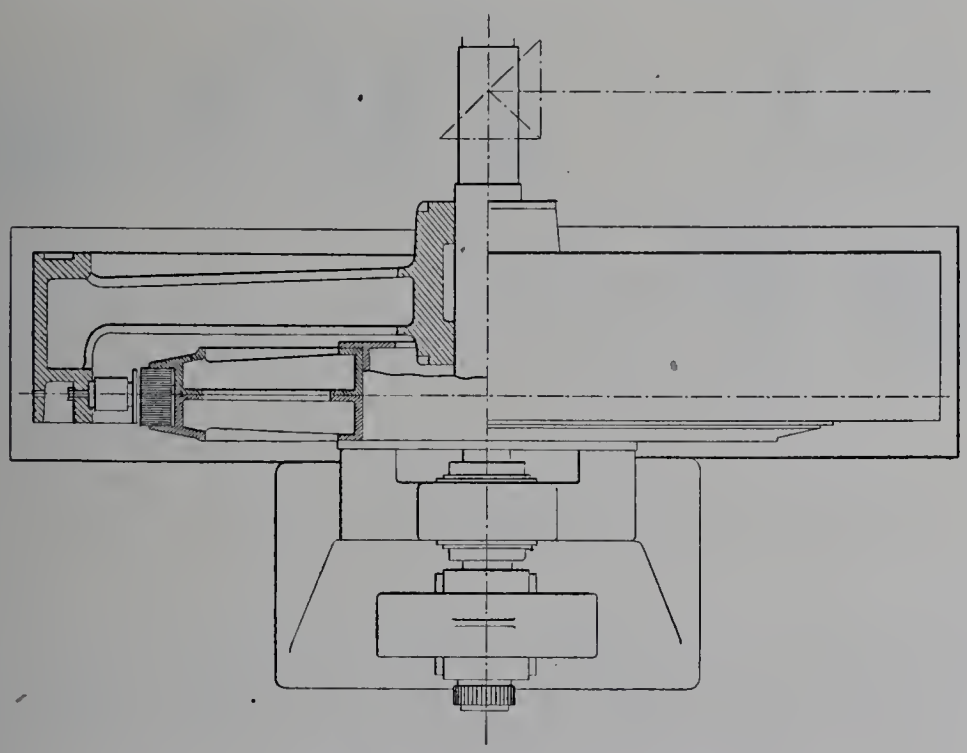


Fig. 51. — Alternateur à pôles extérieurs de 410 kilovoltampères de MM. Brown, Boveri et Cie, de Baden.

Carcasse de l'induit en deux pièces, formant caisse annulaire supportée par une étoile reposant sur deux demi-anneaux en fonte. Le demi-anneau supérieur peut coulisser et se dégager de l'inducteur pour visite et entretien. L'induit pouvant tourner autour de son axe, on a la faculté d'amener la partie inférieure à la partie supérieure et de la faire coulisser à son tour. Enroulement induit à barres logées dans des trous. Trois trous par pôle (fig. 51).

Société nouvelle des Établissements Decauville aîné (Petit-Bourg). — Triphasé. 260 kilovoltampères. Type Kolben. Inducteur volant. Jante en fonte en forme d'⊔, coulée en deux parties, assemblées par boulons et frettes annulaires posées à chaud. Noyaux polaires de section circulaire en acier coulé, épanouissements polaires de forme carrée. Pôles encastrés dans la jante et boulonnés. Bobinage en fil rond sur carcasse isolante.

Carcasse de l'induit formée par une caisse cloisonnée en fonte. Deux verrins inférieurs soutiennent l'ensemble et permettent le réglage de l'entrefer dans le sens vertical. Tôles

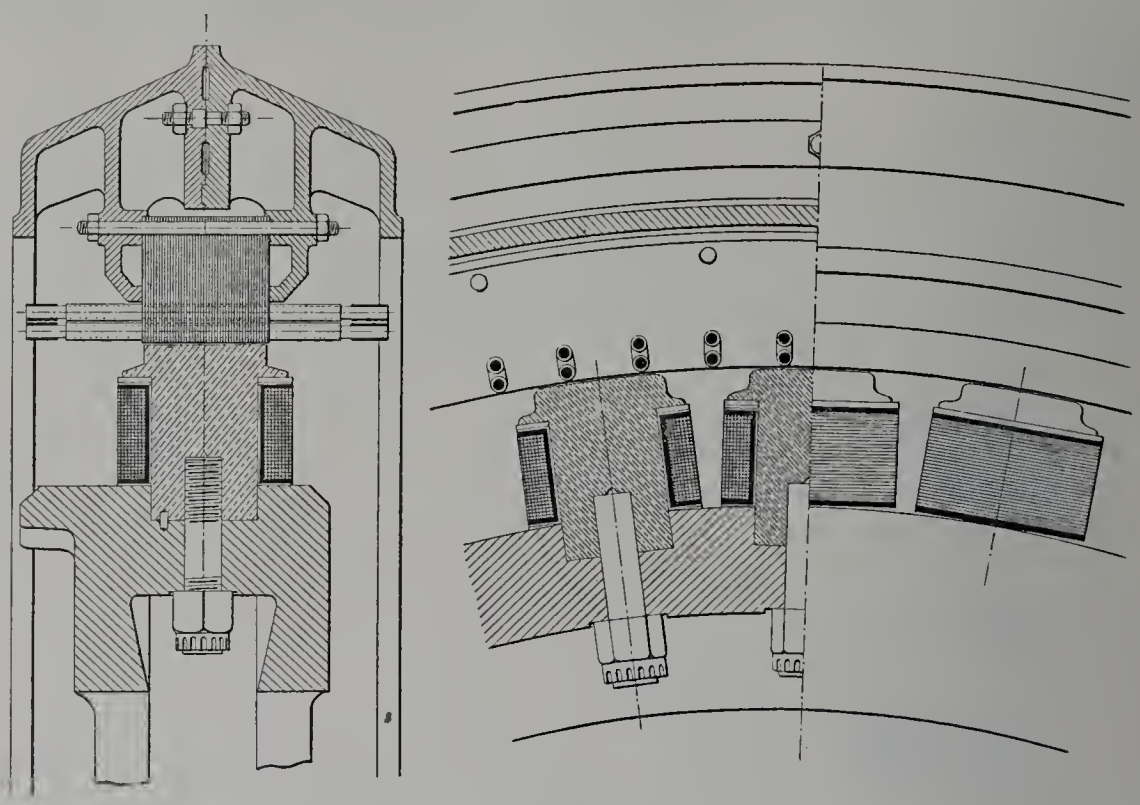


Fig. 52. — Alternateur de 260 kilovoltampères de la Société nouvelle des Établissements Decauville (Système Kolben.)

induites serrées entre deux cloisons en fonte. Un trou oblong par pôle et par phase (fig. 52).

Électricité et hydraulique (Charleroi). — Courants alternatifs simples. 350 kilovoltampères. Inducteur volant en fonte en une seule pièce, avec six bras doubles. Jante de

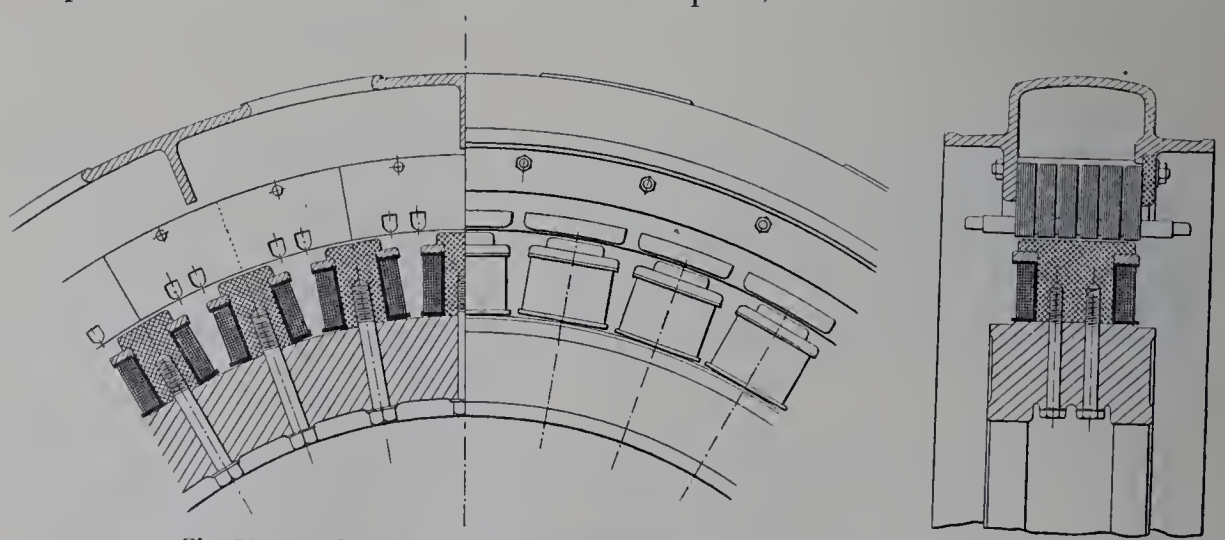


Fig. 53. — Alternateurs à *courants alternatifs simples*, de 350 kilovoltampères, de la Société «Electricité et hydraulique», de Charleroi.

section rectangulaire. Noyaux polaires de section elliptique, épanouissements polaires rectangulaires et légèrement arrondis. Bobine en fil sur carcasses à joues en bronze (fig. 53).

Carcasse de l'induit en deux parties. Réglage de l'entrefer par vis calantes.

Trous des tôles induites rectangulaires fermés en demi-cercle du côté de l'entrefer.

Société « l'Éclairage électrique ». — Alternateur d'expérience donnant directement 30 000 volts. Courants alternatifs simples. 180 kilovoltampères.

Inducteur formé d'une jante polygonale en acier doux portant les pôles inducteurs venus de fonte avec elle. Pièces polaires en acier doux, maintenues sur les pôles par des boulons. Bobinage en fils sur carcasse métallique (fig. 54).

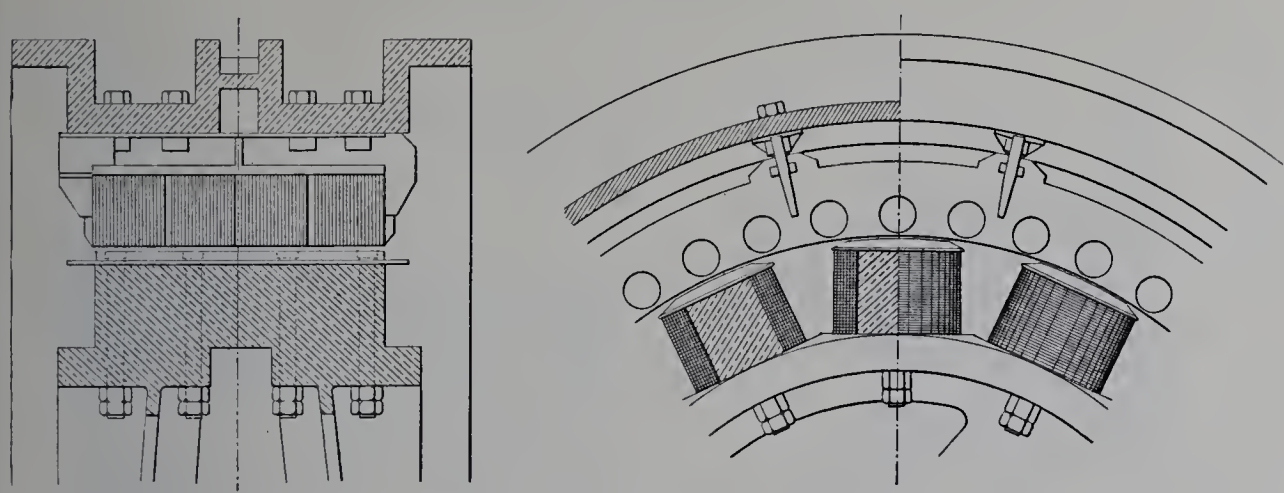


Fig. 54. — Alternateur à *courants alternatifs simples*, de 180 kilovoltampères, de la Société « l'Eclairage électrique ».

Carcasse de l'induit formé d'une couronne en fonte reposant sur deux supports alésés concentriquement à l'induit qui peut ainsi tourner autour de son axe pour visites et réparations. L'induit peut aussi glisser longitudinalement. Noyaux des tôles induites isolés magnétiquement de la carcasse et soutenus par des bras radiaux en bronze en forme de T. Enroulement dans trous circulaires très voisins du bord des tôles. Chaque bobine, enroulée dans deux trous, embrasse la surface polaire d'un inducteur. Isolement par tubes de micanite continus prolongés extérieurement pour que les fils transversaux soient assez distants des parties métalliques. Prises de courant montées sur isolateurs spéciaux en porcelaine.

ALTERNATEURS À PÔLES INDUCTEURS FEUILLETÉS.

ALTERNATEURS À INDUIT DENTÉ.

ALTERNATEURS À INDUIT FIXE.

Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft (Berlin). — Triphasé. 3 000 kilovoltampères. Caractérisé par l'emploi de bobinages à barres et des amortisseurs de M. Maurice Leblanc. Inducteur volant en fonte en quatre parties assemblées par boulons et frettes

posées à chaud. Circuit magnétique inducteur en tôles feuilletées, formé de fractions de couronne correspondant à la largeur de trois pôles. Chaque segment de tôles est serré par trois boulons entre une couronne venue de fonte avec le volant et trois segments rapportés en fonte. Noyaux polaires feuilletés sont terminés en queue d'aronde et viennent se loger dans des mortaises où ils sont clavetés par un dispositif spécial. Enroulement en câble à section rectangulaire roulé sur plat. Les extrémités des pôles sont munies des amortisseurs Hutin et Leblanc. L'amortisseur pour chaque pôle est constitué

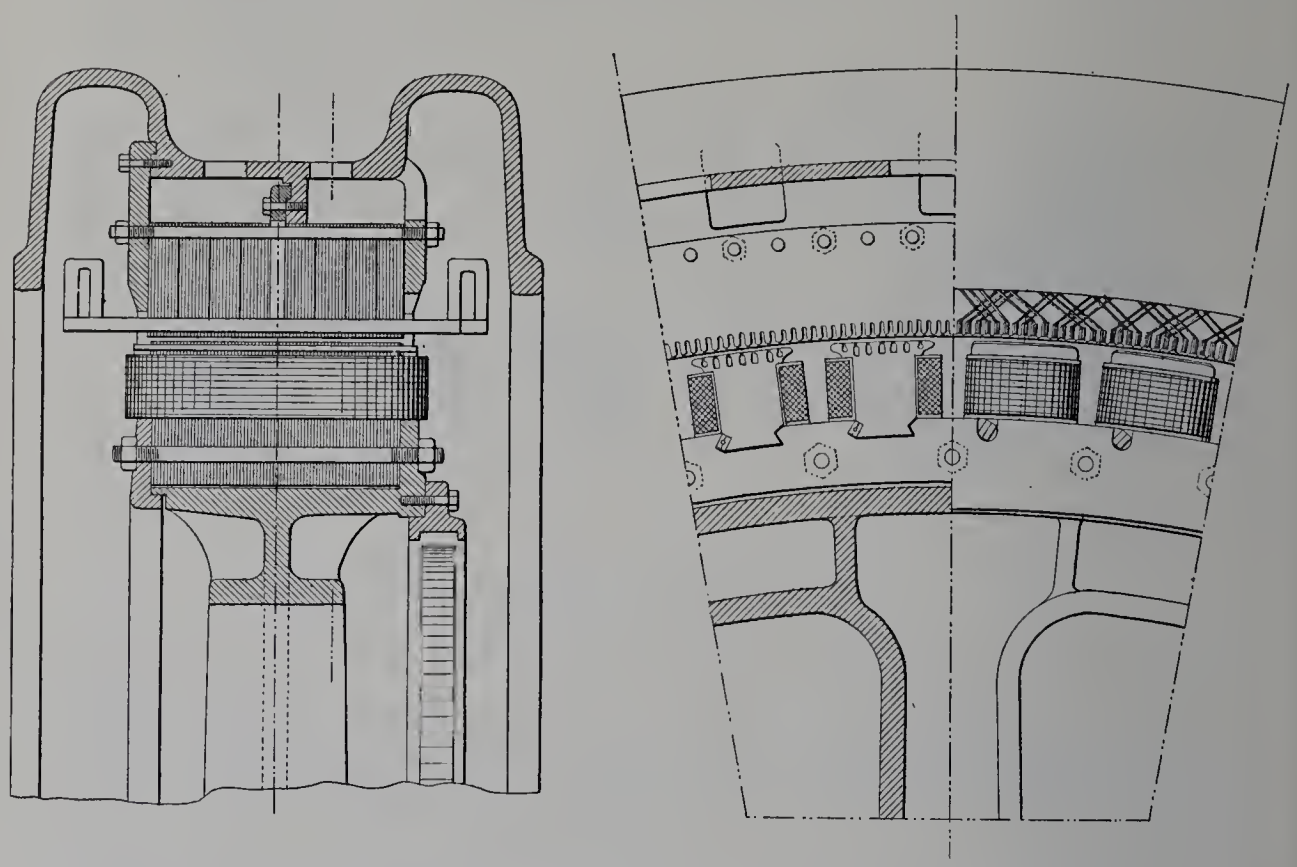


Fig. 55. — Alternateur de 3 000 kilovoltampères de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, de Berlin.

par six tiges à section rectangulaire et deux à section circulaire, une sur chacune des cornes polaires. Ces tiges sont rivées dans des segments en cuivre disposés de chaque côté du pôle. Les amortisseurs facilitent le fonctionnement en parallèle et *étouffent* les harmoniques du flux de réaction d'induit (fig. 55).

Carcasse induite en quatre parties assemblées par des boulons, avec trois anneaux dont deux venus de fonte et un troisième rapporté. C'est entre l'un des anneaux et les segments de l'anneau rapporté que sont serrées les tôles d'induit. L'induit peut se régler en hauteur par des vis calantes, et dans le sens horizontal par des vis de butée.

Les tôles induites (fig. 56, p. 77) portent des rainures rectangulaires à fond arrondi. Elles sont au nombre de 15 par pôle. Les conducteurs sont maintenus par des cales isolantes s'engageant dans des échancrures. Ils sont reliés par des conducteurs en V. Les

connexions sont telles que, pour chaque paire de pôles occupant 30 conducteurs, il y ait, dans chaque phase, une bobine de 3 spires et une bobine de 2, soit 5 spires et

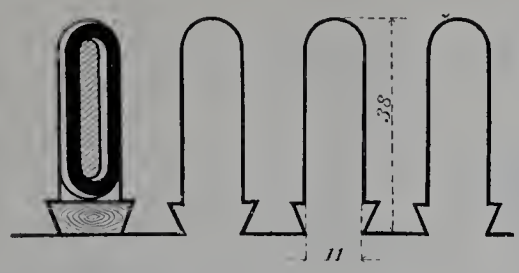


Fig. 56. — Forme des rainures de l'alternateur de l'A. E. G.

10 conducteurs par pôle et par phase. Les tensions de spire à spire sont faibles, et il suffit d'assurer l'isolement des spires avec la masse induite (fig. 56).

Siemens et Halske (Berlin). — Triphasé. 2 000 kilovoltampères. Carcasse inductrice en fonte en deux parties assemblées par 8 boulons. Jante à section rectangulaire avec fentes radiales pour la ventilation. Pôles en tôles, à section rectangulaire, disposés radialement sur la carcasse et maintenus par 4 vis traversant la carcasse et venant se fixer dans une barre rectangulaire en acier, glissée dans un évidement pratiqué dans le noyau.

Bobinage en bandes de cuivre sur champ, isolées par de la toile imprégnée de matière isolante (fig. 57).

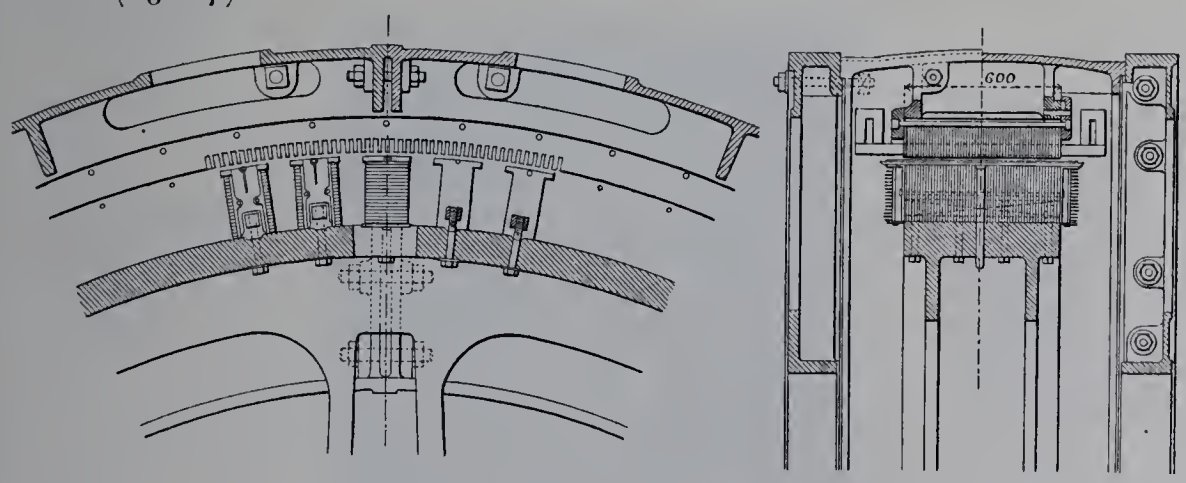


Fig. 57. — Alternateur de 2 000 kilovoltampères de MM. Siemens et Halske, de Berlin.

Carcasse de l'induit en fonte en quatre parties boulonnées. Cette carcasse porte deux équerres reposant sur deux supports horizontaux fixés dans la maçonnerie. Tôles fixées entre deux nervures par des boulons. Le réglage de l'entrefer est assuré par deux rouleaux sur lesquels vient reposer la carcasse induite soigneusement tournée à l'extérieur. Ces rouleaux se meuvent parallèlement à l'axe et permettent, en déplaçant l'un d'eux ou tous les deux, d'obtenir tous les mouvements horizontaux ou verticaux nécessaires à un parfait centrage. Après réglage et centrage, la couronne extérieure est fixée sur les

équerres de support par des boulons. Induit à rainures comportant trois barres par pôle et une barre par rainure. Enroulement ondulé.

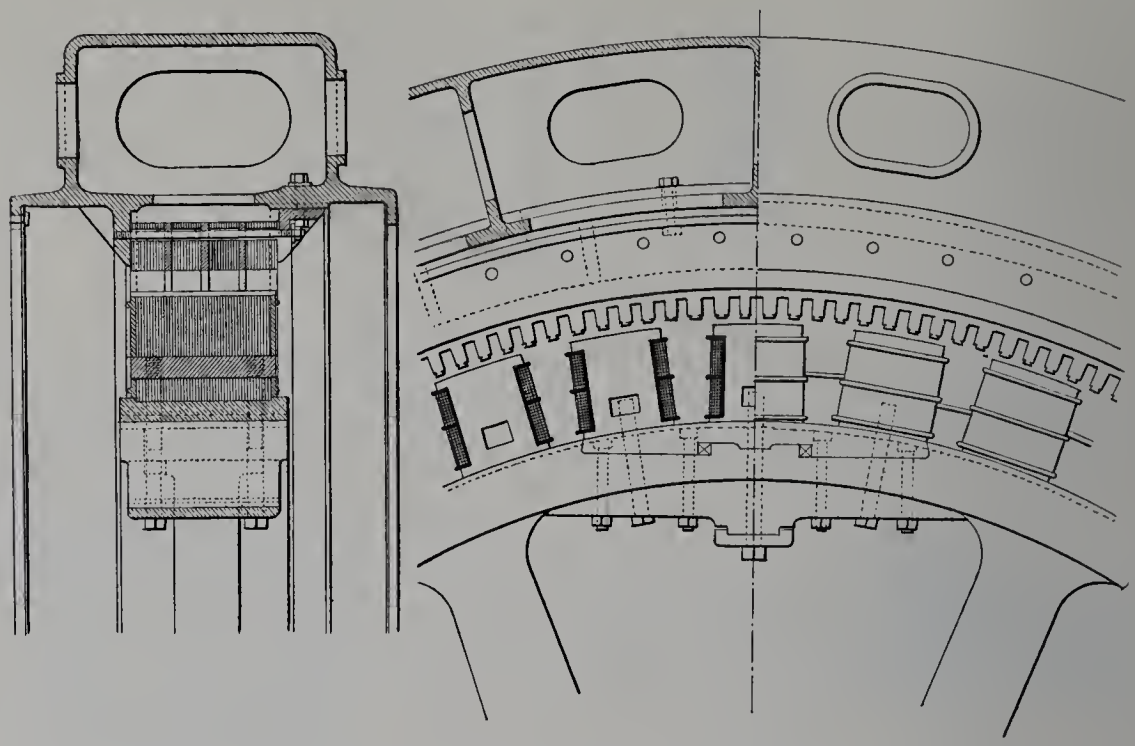


Fig. 58. — Alternateur de 1 340 kilovoltampères
de la Société alsacienne de constructions mécaniques, de Belfort.

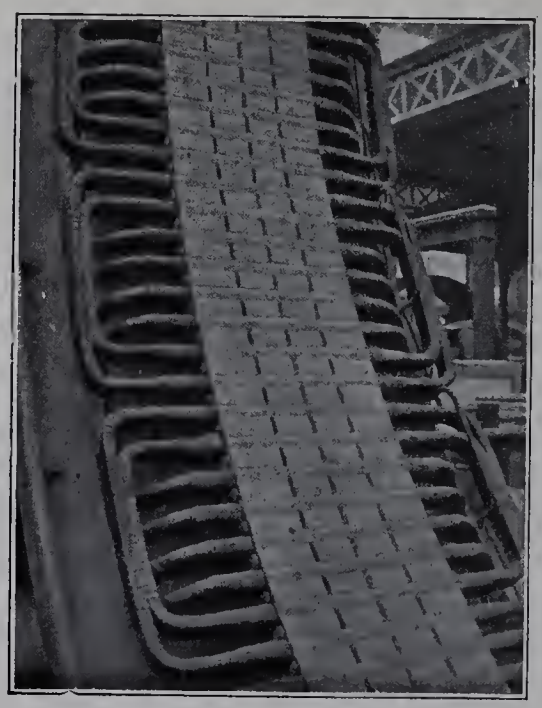


Fig. 59. — Vue d'une partie du bobinage de l'induit de l'alternateur triphasé de la S. A. C. M.

Société alsacienne de constructions mécaniques (Belfort). — Triphasé. 1 340 kilovoltampères. Caractérisé par une faible fréquence (25 périodes par seconde). Induc-

teur en fonte en deux parties. Jante à section rectangulaire. Pôles inducteurs formés de piles de tôle en double T maintenues entre deux plaques de fonte. Pôles légèrement cintrés. Pôles fixés par des barres d'acier dans lesquels sont vissés des boulons traversant complètement la jante. Bobinage formé d'une bande de cuivre en deux parties enroulées en sens contraire et réunies entre elles à la première spire. On a ainsi l'entrée et la sortie du bobinage à la surface extérieure. On empêche le déroulement en soudant la dernière spire de chacune des deux parties du bobinage sur elle-même (fig. 58 et 59, p. 78).

Carcasse de l'induit forme caisse cloisonnée en fonte, avec ouvertures de ventilation, des rebords protecteurs et un anneau vertical consolidé par des nervures radiales. Les tôles de l'induit sont serrées entre ces anneaux et des segments de cornière fixés à la carcasse.

Bobinage formé d'une bande de cuivre enroulée sur gabarit. Ce bobinage est disposé dans des rainures préalablement garnies de micanite. Elles sont maintenues par des cales en bois. On peut retirer une bobine induite en retirant deux pôles. 6 rainures par pôle, soit 2 par pôle et par phase.

Ateliers d'Oerlikon (Suisse). — Triphasé. 1 375 kilovoltampères. Inducteur volant en deux parties boulonnées. Jante en T réunie au moyeu par 8 bras à nervures. Pôles inducteurs en tôles feuilletées serrées et rivées. Pôles légèrement plus étroits du côté de l'entrefer. Pôles terminés en queue d'aronde et fixés sur la jante par des pièces en acier à section trapézoïdale se glissant entre deux pôles voisins et maintenues sur la jante par deux vis. Bobinage en fil sur carcasse avec joues en bronze (fig. 60).

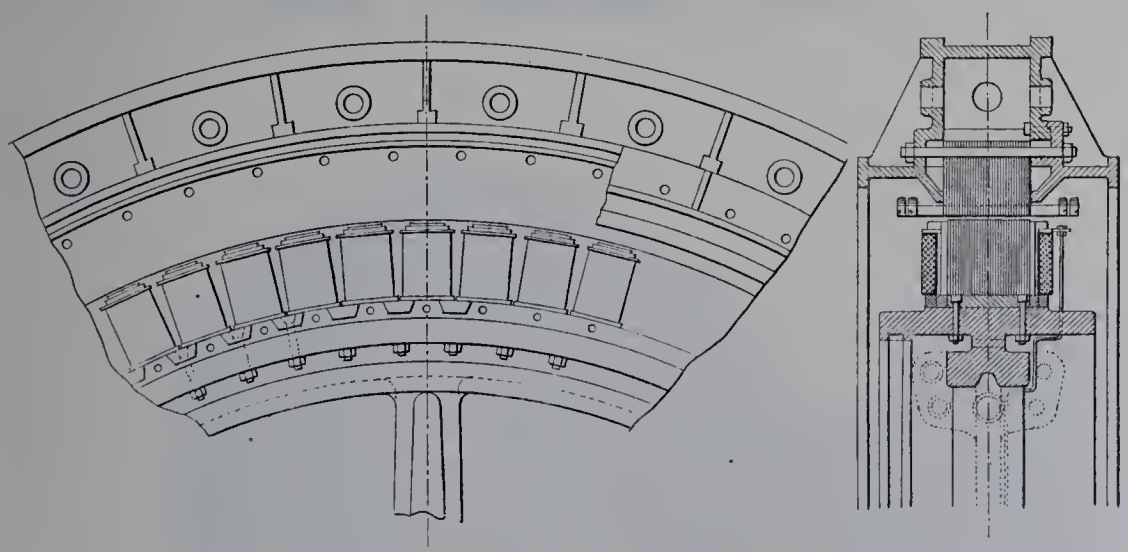


Fig. 60. — Alternateur de 1 375 kilovoltampères des Ateliers d'Oerlikon.

Carcasse d'induit forme caisse annulaire en deux parties, section en ⊔, avec rebords dont l'un est venu de fonte avec la caisse. L'autre rebord est rapporté. Ces deux rebords viennent prendre les tôles de l'induit et sont serrés par des boulons qui traversent ces tôles. On assure le centrage de l'induit par des coins de rattrapage disposés entre

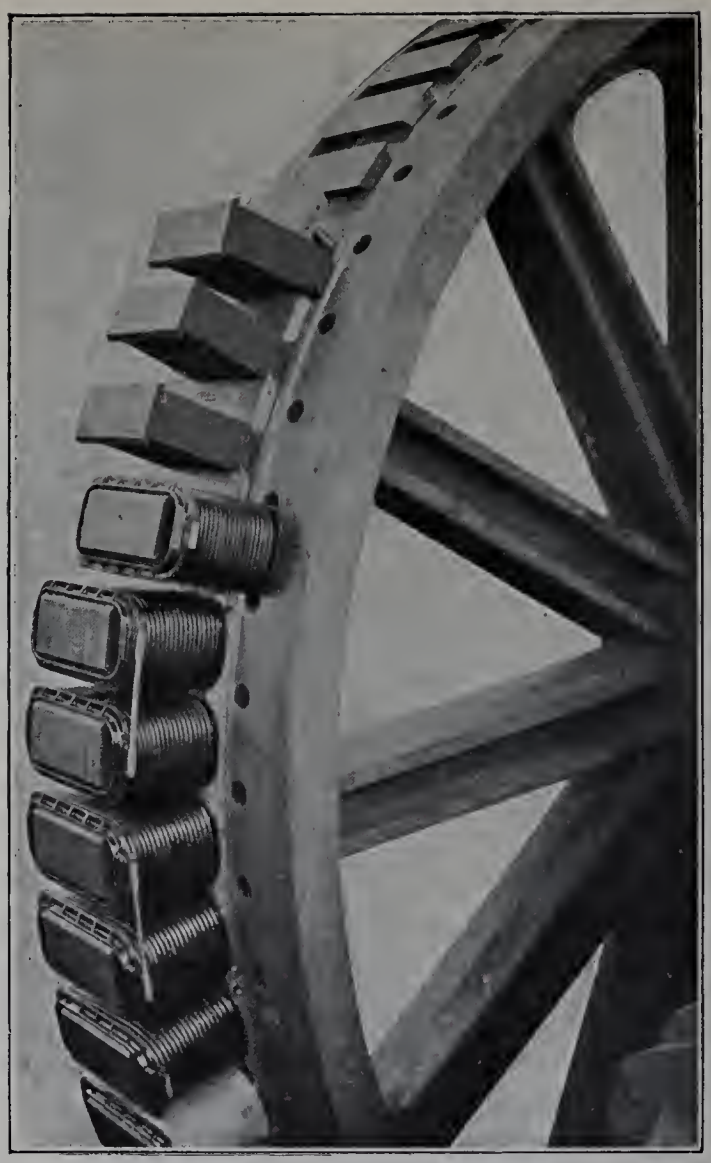


Fig. 61. — Montage des inducteurs de l'alternateur des Ateliers d'Oerlikon.

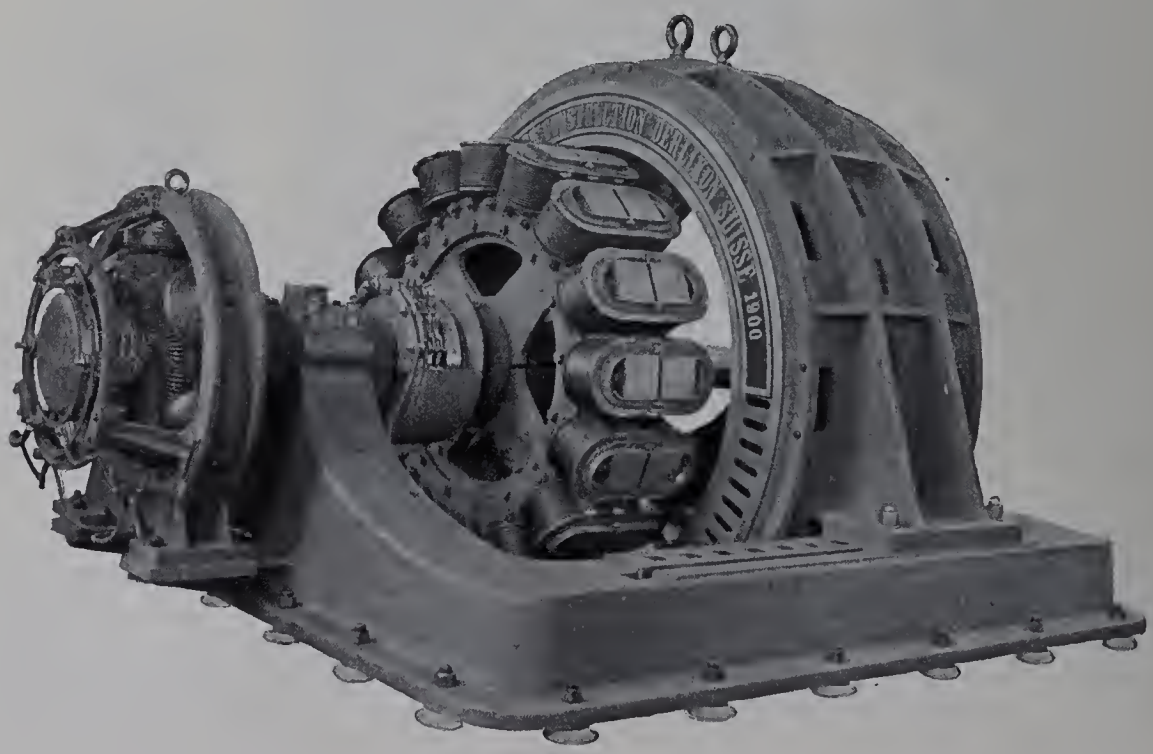


Fig. 62. — Alternateur à induit longitudinalement déplaçable des Ateliers d'Oerlikon.

l'induit et les plaques de fondation. Bobines induites faites sur gabarit et maintenues dans les encoches par des plaquettes en fibre glissées latéralement dans des rainures ménagées sur le bord des encoches (fig. 60 et 61, p. 79 et 80). La figure 62 (p. 80) montre un alternateur du même type avec induit déplaçable pour visites et réparations.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — Triphasé. 1 000 kilovoltampères. Carcasse inductrice en deux parties. Etoile à 8 branches en fonte et jante en acier en deux parties réunies par des agrafes posées à chaud. Pôles en paquets de tôle maintenus par une barre d'acier logée dans un évidement ménagé dans les tôles, et maintenue à ses deux extrémités par des plaques de bronze qui servent en même temps à serrer les tôles entre elles. Epanouissements polaires à section trapézoïdale pour répartir le flux. Bobinage sur champ.

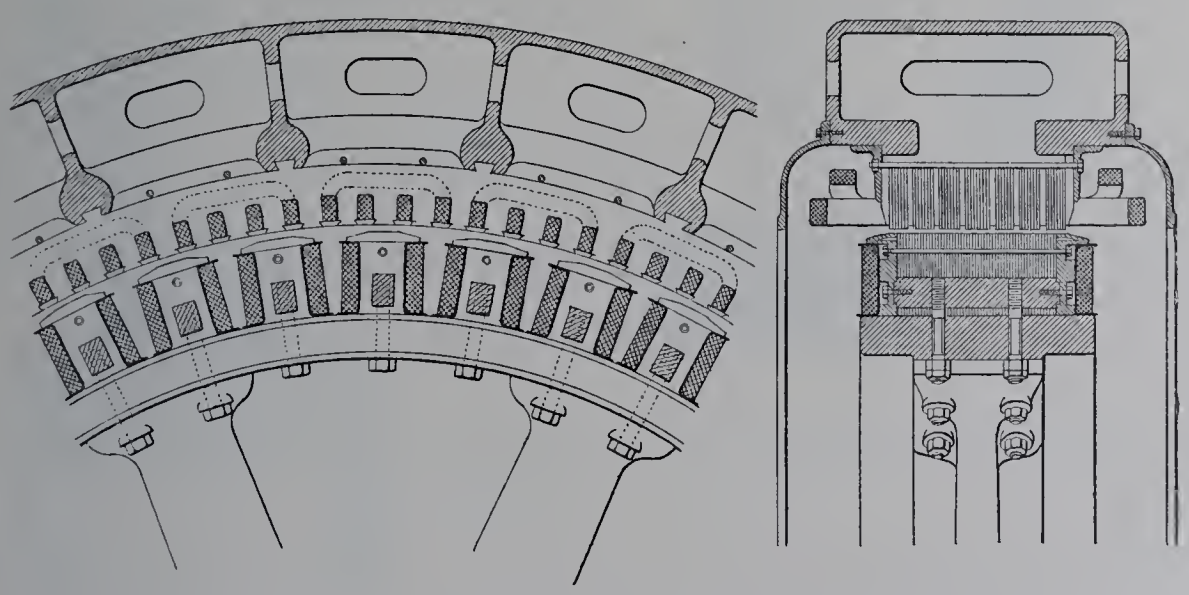


Fig. 63. — Alternateur de 1 000 kilovoltampères de la Compagnie française Thomson-Houston.

Carcasse d'induit forme anneaux creux en deux parties. Entrefer réglage par vis de calage et vis de butée. Tôles induites maintenues en cornières. Enroulement induit logé dans des rainures terminées en queue d'aronde pour pouvoir recevoir des cales en bois. Bobines roulées sur gabarit, logées dans des tubes de section rectangulaire en toile huilée (fig. 63).

Compagnie de Fives-Lille. — Triphasé. 800 kilovoltampères. Inducteur monté sur le volant du moteur à vapeur. Paquets de tôles rivés, traversés par une barre d'acier de section rectangulaire entrée à force et formant écrou double par les deux boulons qui maintiennent le noyau. Ce dispositif rend le démontage d'un pôle très facile, ainsi que l'enlèvement d'une bobine induite. Bobinage en fil sur carcasse en laiton fondu.

Carcasse de l'induit en forme d'⊔ ajouré repose sur les plaques de fondation par

IMPRIMERIE NATIONALE.

l'intermédiaire de vis de calage permettant le centrage. Noyau en tôles séparées par du papier de soie. Tôles serrées dans la carcasse entre une bride fixe et des segments amovibles par des tiges filetées aux deux bouts et placées très près du bord extérieur.

Tôles percées de trous légèrement ouverts formant encoches dans lesquelles on enfonce des tubes de micanite de 3 millimètres d'épaisseur. Le bobinage est spécial et comprend 5 spires de 4 fils en quantité. Comme il y a 10 fils par encoche, chaque bobine comprend ainsi deux spires larges, enroulées dans les bobines extrêmes, deux

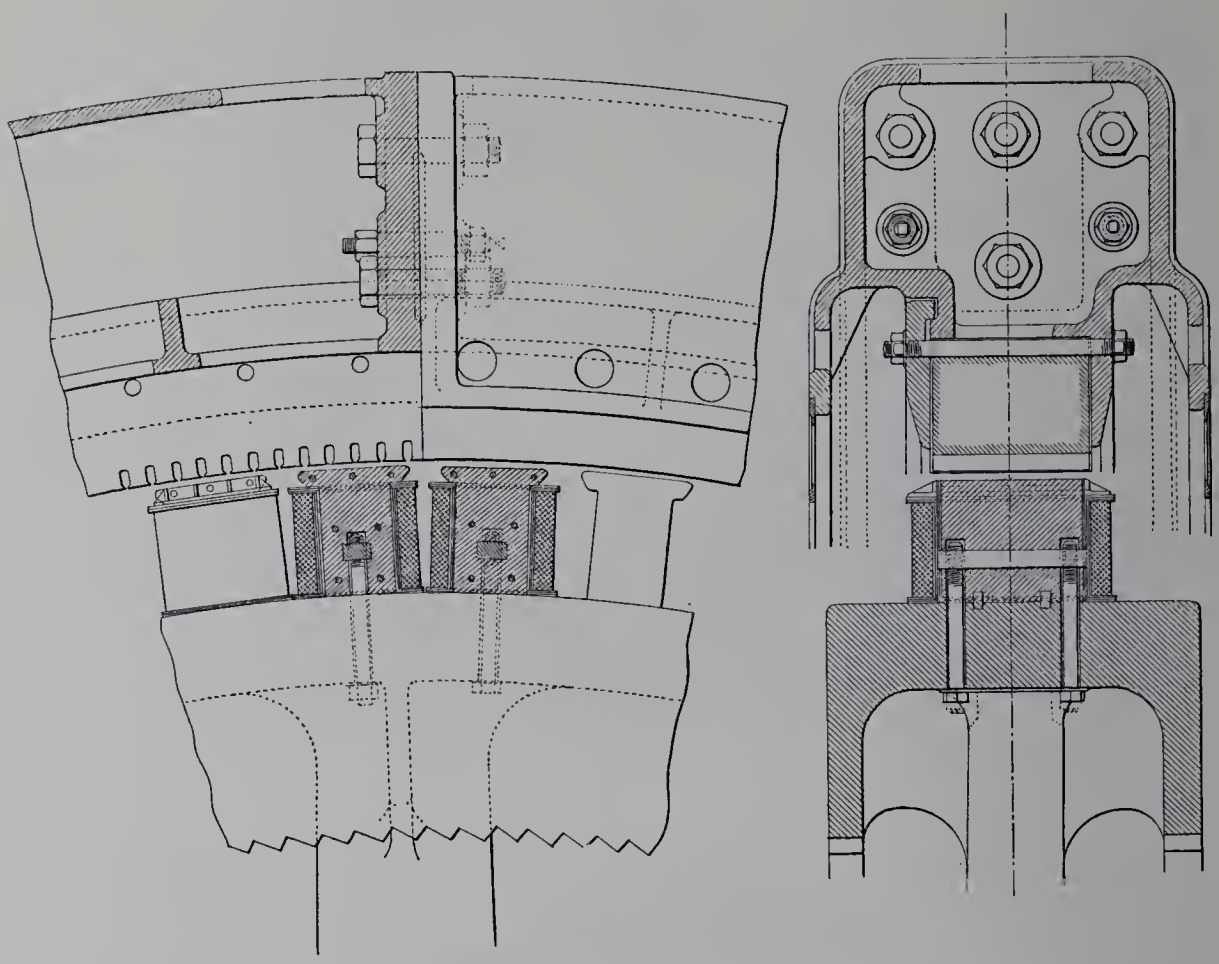


Fig. 64. — Alternateur de 800 kilovoltampères de la Compagnie de Fives-Lille.

spires étroites dans les encoches intérieures, et une spire mixte enroulée dans une encoche extrême et une intérieure pour chacun des deux groupes de fils en quantité (fig. 64).

Compagnie de l'Industrie électrique (Genève). — Alternateur à courants diphasés de 230 kilovoltampères. Inducteur volant en fonte fixé, par 8 boulons, sur un disque venu de fonte avec le moyeu.

Pôles feuilletés élargis à la base et un peu cintrés pour s'appliquer sur la jante.

Épanouissements polaires arrondis. Noyaux fendus radialement pour réduire le flux transversal de réaction d'induit. Pôles fixés sur la jante par des traverses rectangulaires

formant écrou pour des boulons traversant la jante. Bobines en bronze. Bobinage en fil carré.

Carcasse d'induit formée d'une caisse en fonte avec nervures radiales sur lesquelles s'appuient des clavettes à section trapézoïdale le long desquelles sont empilées les tôles, serrées entre un disque venu de fonte avec la carcasse et un anneau de fonte rapporté.

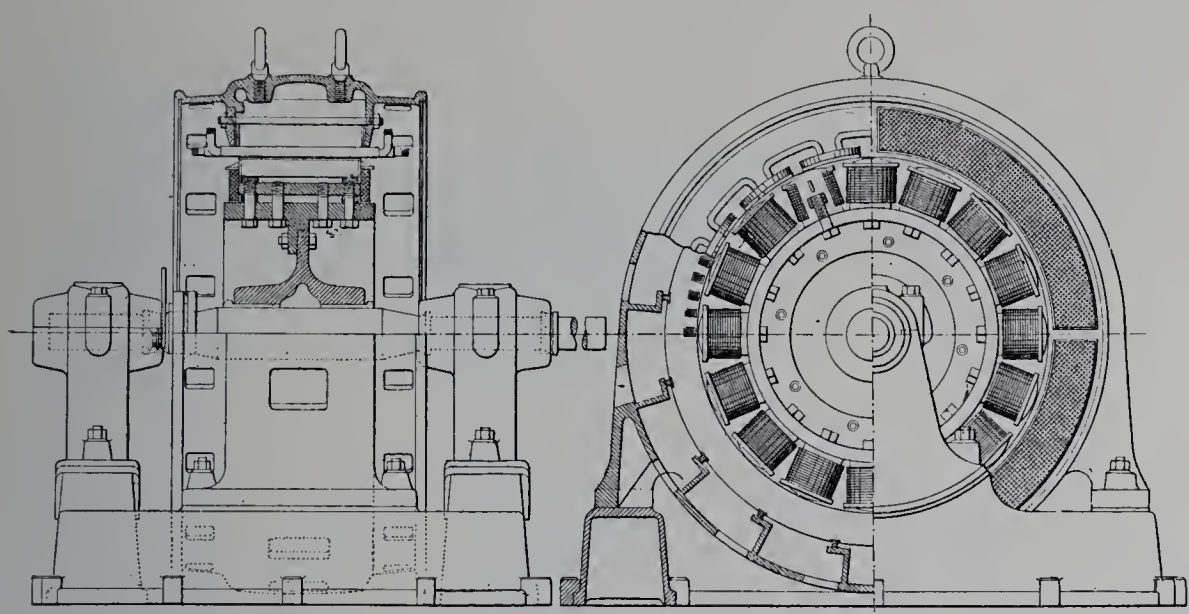


Fig. 65. — Alternateur *diphasé* de 460 kilovoltampères de la Compagnie de l'Industrie électrique, de Genève. (Système Thury.)

Rainures légèrement fermées, 4 rainures par pôle. Prises de courant montées sur isolateurs en porcelaine, comme la machine elle-même (fig. 65).

ALTERNATEURS À ÉPANOUISSEMENTS POLAIRES FEUILLETÉS.

Ces alternateurs sont à peu près abandonnés aujourd'hui. Un seul type figurait à l'Exposition.

Elektricitäts actien Gesellschaft, vormals Kolben und Cie (Prague-Vysocan). — Triphasé. 780 kilovoltampères. Combiné pour un service mixte d'éclairage, de distribution de force motrice et de traction; doit donner peu de variations de tension avec les variations de charge, inductive ou non inductive.

Carcasse inductrice formée d'une jante en fonte à section en ⊔ en deux parties boulonnées et frettées. Pôles inducteurs en acier coulé, de section elliptique, encastrés dans la couronne du volant, et retenus par des boulons.

Pièces polaires en tôles feuilletées, terminées en queue d'aronde et prises dans une projection polaire du noyau au moment de la coulée. Bobinage sur champ.

Carcasse d'induit formée d'une caisse cloisonnée en fonte en quatre parties. Cette caisse peut coulisser sur deux bancs pour dégager l'inducteur. Tôles induites main-

tenues entre deux cloisons en fonte de la carcasse et serrées par des boulons. Encoches ouvertes permettant le bobinage sur gabarit; bobines maintenues en place dans un

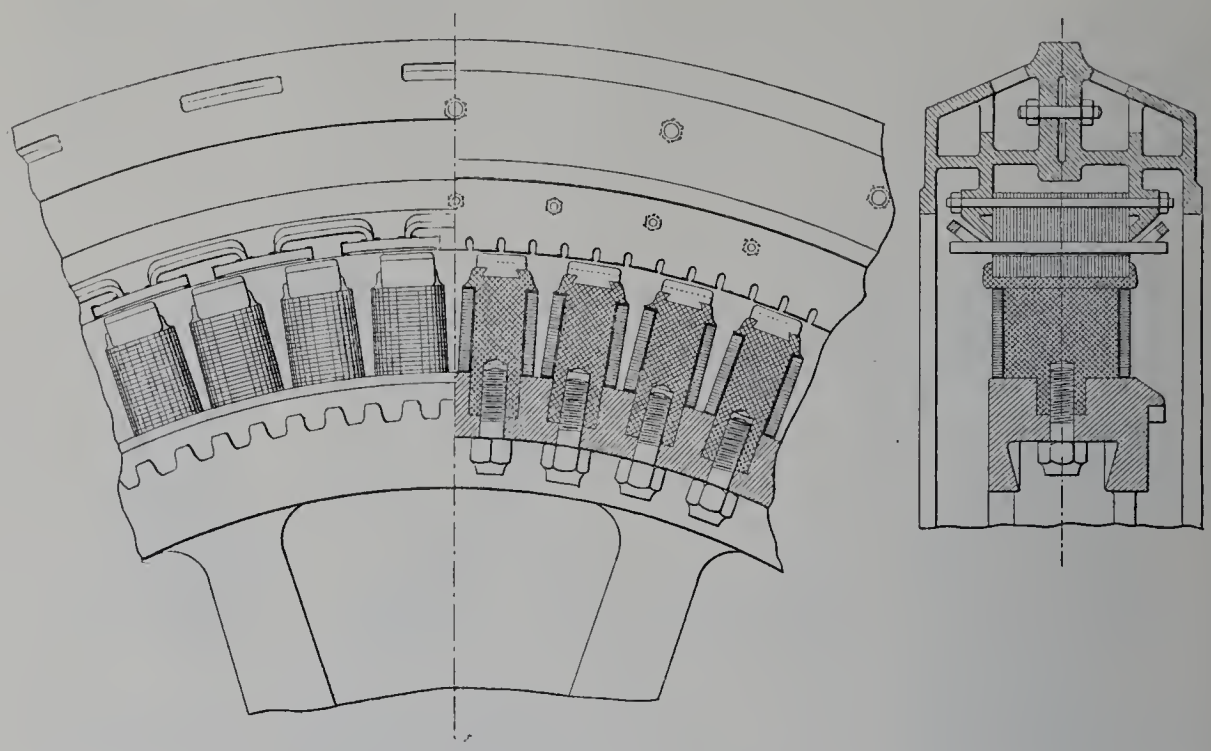


Fig. 66. — Alternateur de 780 kilovoltampères de M. Kolben, de Prague.

caniveau en micanite par des baguettes en fibre. Une seule encoche par pôle et par phase (fig. 66).

ALTERNATEURS HOMOPOLAIRES OU À FLUX ONDULANT.

ALTERNATEURS À PÔLES PLEINS.

Siemens et Halske (Vienne). — Triphasé. 122 kilovoltampères. Moyeu en acier coulé, portant l'une des séries de pôles prolongée par une partie de diamètre plus faible. Cette partie porte un plateau sur lequel est boulonnée la poulie de commande. Des bouts d'arbre sont emmanchés à chaud dans le moyeu. La seconde série de pôles est disposée sur une couronne qui est mise en place après l'introduction de la bobine fixe. Les deux séries de pôles sont décalées de la moitié du pas polaire. Le circuit inducteur formé de deux grandes bobines de section triangulaire disposées l'une à côté de l'autre est maintenu en place par des supports fixés à la carcasse de l'induit.

Carcasse d'induit en fonte en une seule pièce a la forme d'une caisse cylindrique. Les deux couronnes de tôles induites sont serrées par des anneaux contre une couronne fixe à l'aide de boulons isolés. L'enroulement induit est disposé dans des encoches demi-fermées, à raison de 4 par pôle et par phase. Excitatrice en bout d'arbre (fig. 67, p. 85).

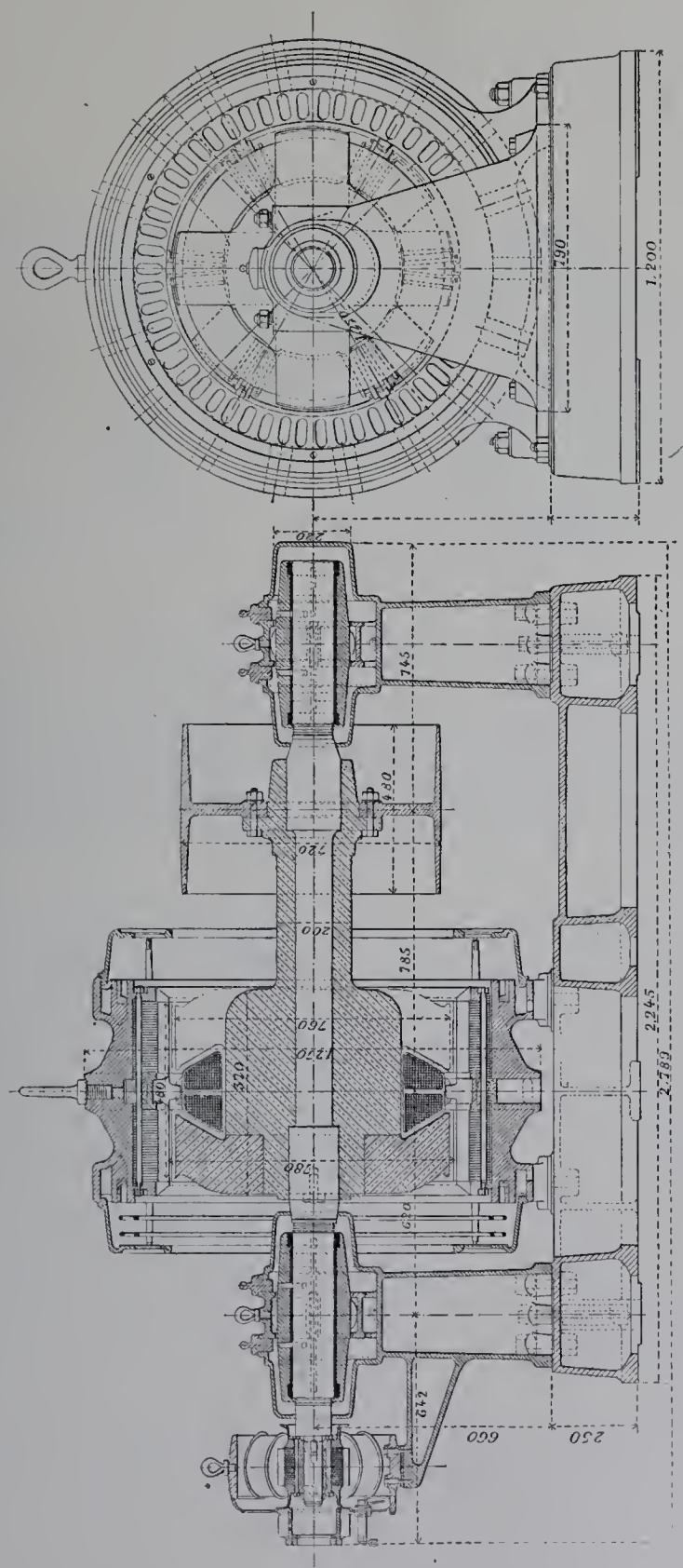


Fig. 67. — Alternateur de 122 kilovoltampères de MM. Siemens et Halske, de Vienne.

Sautter, Harlé et Cie. — Triphasé. 60 kilovoltampères. Type établi pour être commandé par une turbine à vapeur, caractérisé par l'emploi d'un seul induit, de deux systèmes magnétiques inducteurs à pôles conséquents et deux bobines inductrices extérieures. Inducteur en acier formé d'un noyau portant quatre saillies polaires de section trapézoïdale avec angles légèrement arrondis.

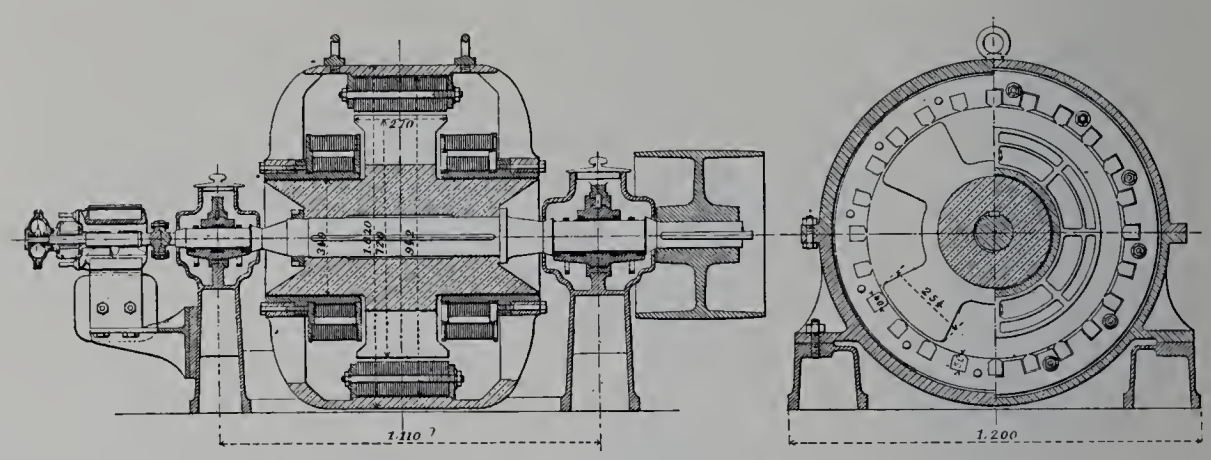


Fig. 68. — Alternateur de 60 kilovoltampères de MM. Sautter, Harlé et Cie.

Carcasse d'induit forme caisse en acier coulé, en deux parties.

Le circuit magnétique fermé par des bras courbes radiaux venus de fonte avec la carcasse et portant des couronnes à l'intérieur desquelles sont fixés des cylindres creux en fer forgé qui entourent les parties extrêmes du moyeu en ménageant un entrefer de 2 millimètres.

Les cylindres en fer forgé supportent les bobines inductrices. Les tôles induites sont serrées à l'intérieur de la carcasse entre deux disques en bronze dentés intérieurement, et maintenues par des boulons isolés.

Le bobinage induit est disposé dans des encoches rectangulaires très peu ouvertes. 6 rainures par pôle. Bobinage en fil.

Bobines inductrices en deux parties concentriques, placées entre deux joues en bronze ajourées, pour faciliter la ventilation (fig. 68).

Schneider et Cie (Le Creusot). — Diphasé. 460 kilovoltampères. Type Thury. Étudié pour résister à des emballements et à des à-coups. Circuit inducteur formé par un volant en acier moulé, portant deux séries de saillies polaires, de chaque côté de la bobine excitatrice.

Carcasse de l'induit en acier coulé en deux parties. Induits en tôles logés dans des chemises annulaires en fonte emmanchées à frottement dur dans la carcasse, et serrées par un couvercle annulaire boulonné à la fois sur la carcasse en acier et sur l'enveloppe. Rainures légèrement ouvertes.

Bobinage en barres reliées par des V. Couplage en quantité par des cercles en cuivre rouge. On peut coupler en quantité ou en tension les deux bobinages de chaque

demi-machine ainsi que les deux circuits induits, ce qui donne à volonté 40, 80, ou 160 volts aux bornes (fig. 69).

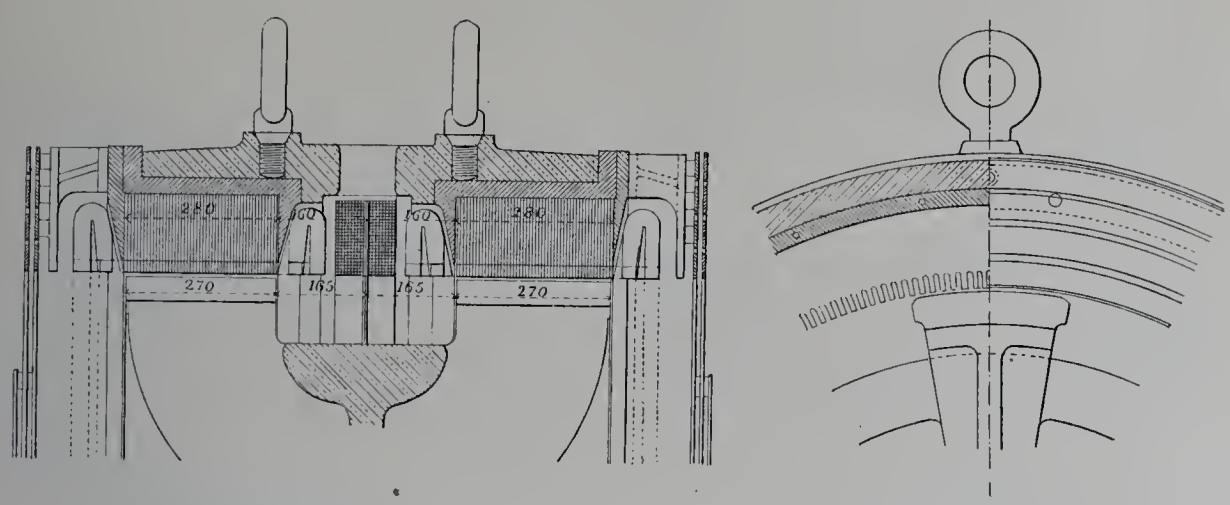


Fig. 69. — Alternateur Thury de 460 kilovoltampères de MM. Schneider et Cie.

ALTERNATEURS À PÔLES FEUILLETÉS.

Ateliers d'Oerlikon (Suisse). — Triphasé. 650 kilovoltampères. Inducteur forme une couronne en acier coulé, boulonnée sur un support en fonte claveté sur l'arbre. Deux séries de pôles en regard. Les saillies polaires sont constituées par une pile de tôles feuilletées présentant une rainure en queue d'aronde, dans laquelle est glissée

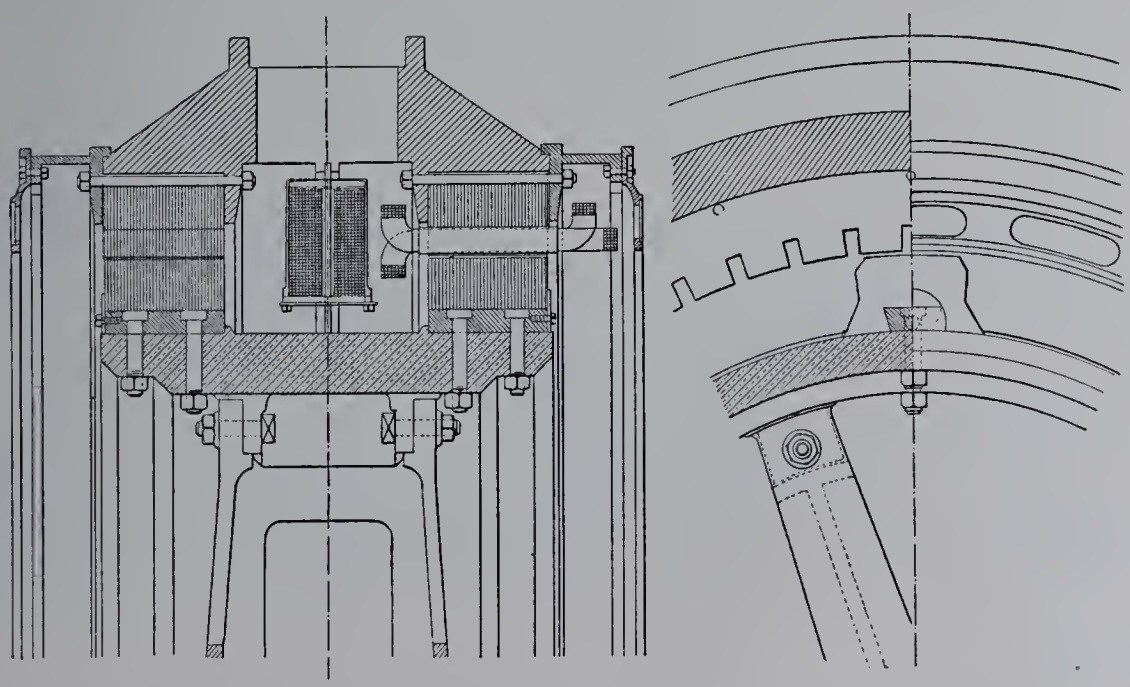


Fig. 70. — Alternateur triphasé de 650 kilovoltampères des Ateliers d'Oerlikon.

une clavette fixée à la jante par deux boulons. La bobine inductrice est en deux parties et suspendue à la carcasse de l'induit. Bobinage en bande de cuivre roulée à plat (fig. 70).

Carcasse d'induit forme une couronne en fonte, en deux parties. Couronne de tôles d'induit serrées par des boulons entre deux anneaux venus de fonte avec la carcasse. Induit à rainures, à raison d'une rainure par pôle et par phase. Deux enroulements induits distincts formés de bobines roulées sur gabarit et isolées par des gaines en micanite.

Bobines maintenues par des cales en fibre. Toutes les prises de courant sont au bas de l'alternateur.

Farcot frères et Cie. — Courants diphasés. 835 kilovoltampères. Circuit inducteur formé de deux couronnes en fonte, en quatre morceaux, fixées sur la jante du volant. Saillies polaires fixées sur les couronnes à l'aide de clavettes logées dans des encoches en queue d'aronde pratiquées dans les tôles et boulonnées (fig. 71).

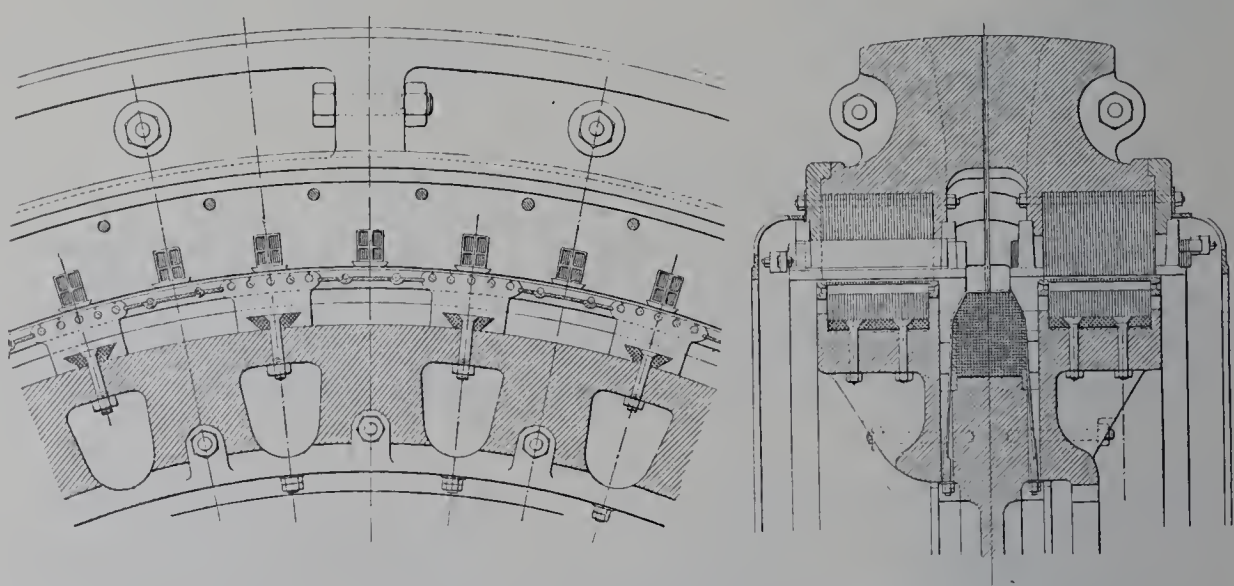


Fig. 71. — Alternateur diphasé de 835 kilovoltampères de MM. Farcot.

Pôles inducteurs élargis près de l'entrefer, portent des rainures légèrement ouvertes, dans lesquelles sont logés des circuits amortisseurs. Bobine inductrice enroulée sur la jante entre deux flasques, tourne avec l'inducteur.

Carcasse de l'induit forme deux couronnes en fonte, portant les piles de tôles serrées par des segments en fonte. Induit en deux parties, portant chacune un bobinage à courants alternatifs simples. Les bobines sont logées dans des encoches et isolées par des caniveaux en micanite. Enroulements en bandes de cuivre. Les deux bobinages induits sont décalés d'un quart de pôle, ce qui correspond à un déphasage de quart de période. Les couronnes induites peuvent se déplacer longitudinalement pour les visites et l'entretien.

Ateliers d'Oerlikon (Suisse). — Courants alternatifs simples. 350 kilovoltampères. Inducteur volant en acier coulé, en une seule pièce, réuni au moyeu par six bras doubles. Ce volant porte deux séries de saillies polaires en regard, constituées par des piles de

tôles fixées à la jante par des clavettes à section trapézoïdale glissées dans des logements en queue d'aronde pratiqués dans les tôles. Chaque clavette est retenue par une vis

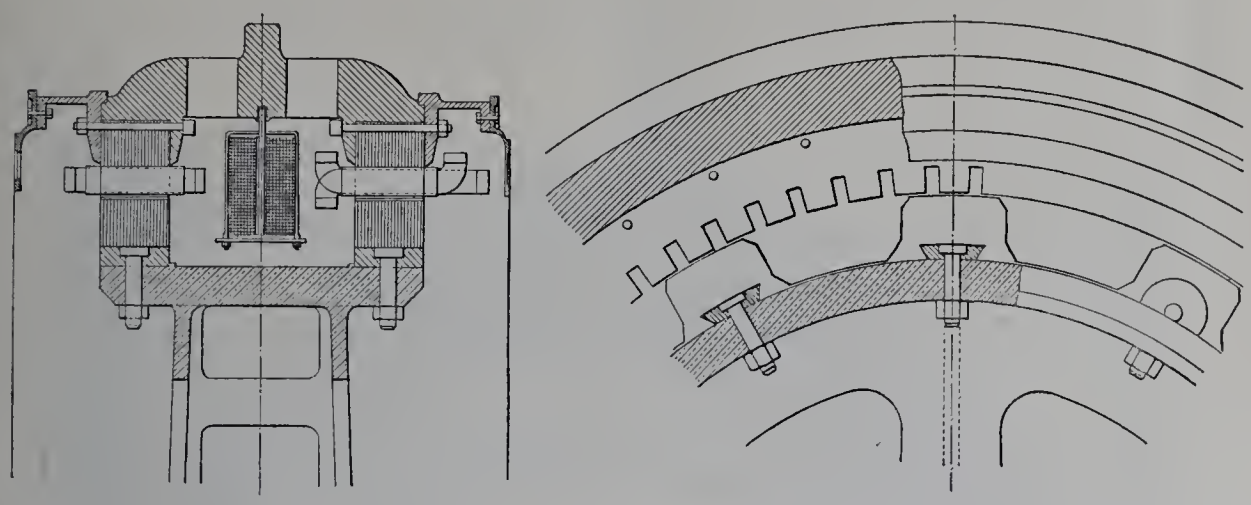


Fig. 72. — Alternateur à *courants alternatifs simples*, de 350 kilovoltampères, des Ateliers d'Oerlikon.

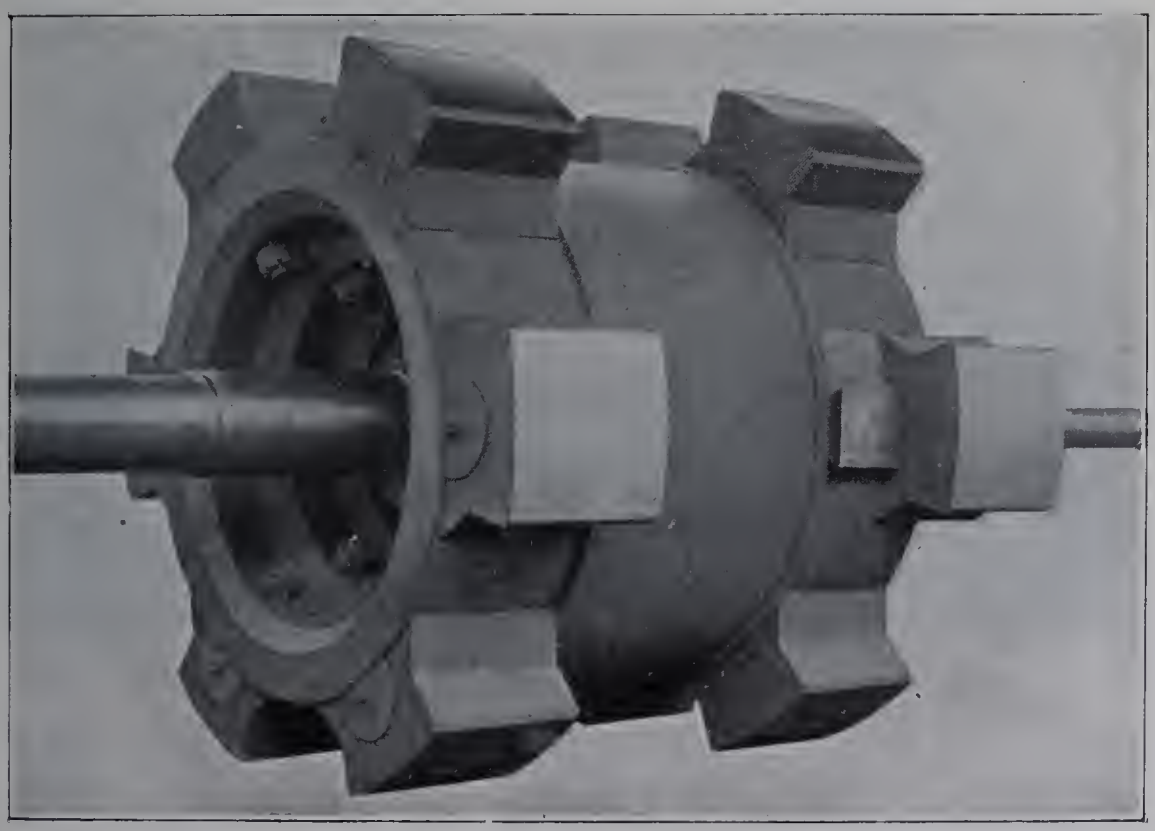


Fig. 73. — Pôles inducteurs tournants d'un alternateur homopolaire des Ateliers d'Oerlikon.

traversant complètement la jante. Bobine inductrice fixe, en deux parties, fixée sur la carcasse de l'induit. Bobinage en bande de cuivre roulée à plat isolée à l'amiante (fig. 72 et 73, et fig. 74, p. 90).

Carcasse de l'induit formée par une caisse en fonte en deux parties, avec pattes pour plaques de fondation et vis calantes de réglage pour le centrage. Deux anneaux de tôles induites fixées sur la carcasse par des boulons sur deux couronnes intérieures. Chaque induit porte 5 entailles par pôle, ce qui permet le bobinage éventuel de la carcasse induite en triphasé.

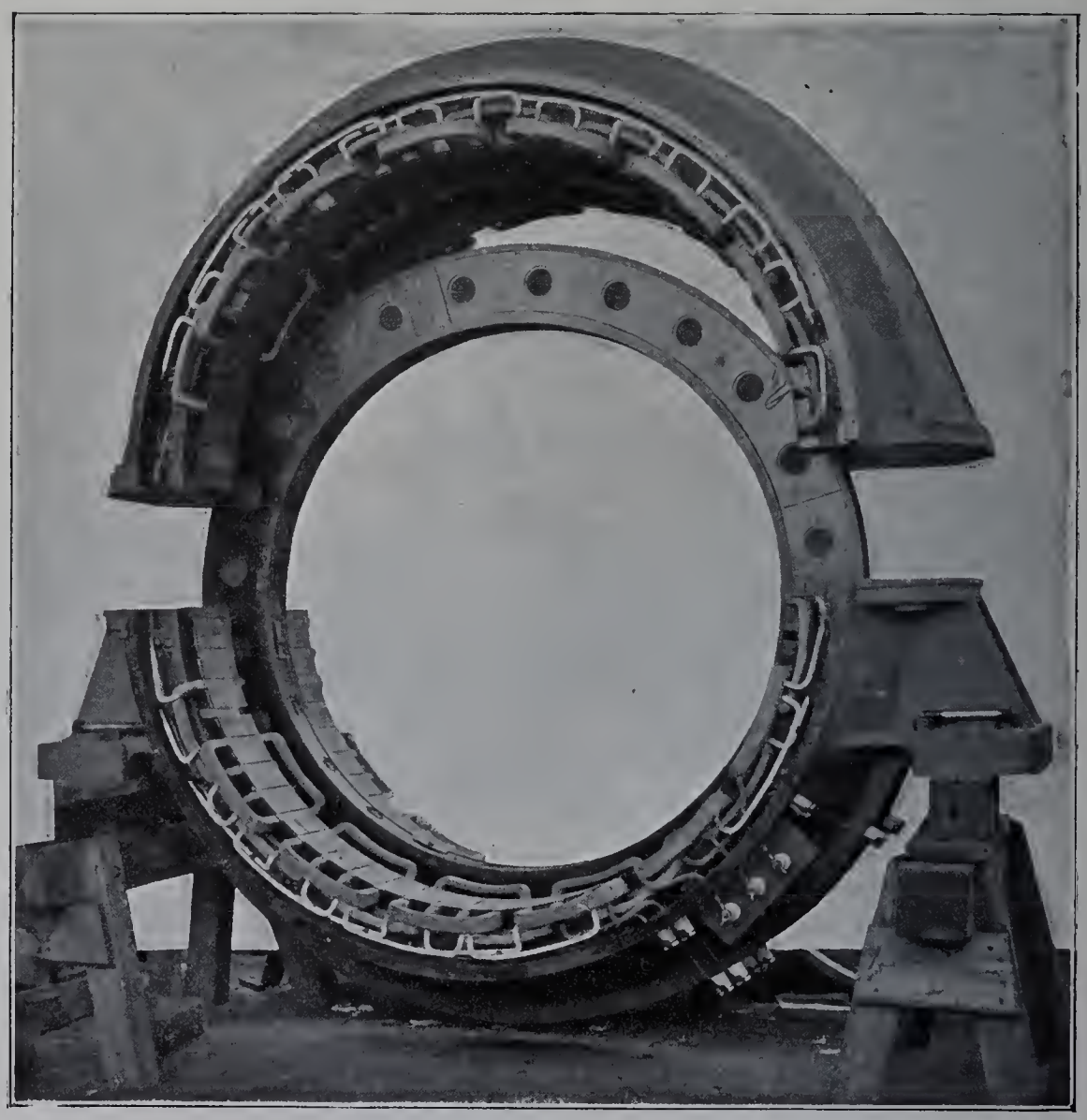


Fig. 74. — Induit d'alternateur homopolaire des Ateliers d'Oerlikon, muni de sa bobine d'excitation fixe.

Dans le bobinage en alternatifs simples, on n'a utilisé que 48 entailles sur 72, sur chaque noyau induit.

Bobines enroulées sur gabarit et isolées par une gaine en micanite sans joint.

Bobines maintenues en place par des plaquettes de fibre. Extrémités rabattues alternativement en haut et en bas, de façon à réduire la largeur de l'alternateur (fig. 75, p. 91).

Tous ces alternateurs homopolaires, ne comportant aucun fil mobile, permettent de donner à la partie tournante une grande résistance mécanique et d'atteindre sans

Fig. 75. — Bobine excitatrice fixe d'un alternateur homopolaire des Ateliers d'Oerlikon.

danger des vitesses angulaires exagérées, dans le cas d'emballement d'une turbine, par exemple.

ALTERNATEURS À PIÈCES POLAIRES FEUILLETÉS.

Alioth et Cie (Bâle). — Triphasé. 190 kilovoltampères. Inducteur volant en acier coulé portant deux séries de 8 saillies venues de fonte et décalées, d'un demi-intervalle polaire. Ces saillies se terminent par des queues d'aronde sur lesquelles s'agrafent les tôles formant les épanouissements polaires.

Bobine inductrice en fil logée entre les deux couronnes de saillies fixée sur la carcasse par des boulons.

Carcasse d'induit en acier coulé en une seule pièce reposant sur deux supports venus de fonte avec le bâti avec surfaces d'appui concentriques aux noyaux induits. Carcasse fixée par des vis qui, après enlèvement, permettent de la faire tourner pour visite et entretien.

Deux anneaux induits disposés entre deux cercles d'acier serrés contre des rebords

et boulonnés. Bobines préparées d'avance sur gabarit et logées dans des rainures, avec caniveaux d'isolement en micanite. Six rainures par saillie polaire (fig. 76).

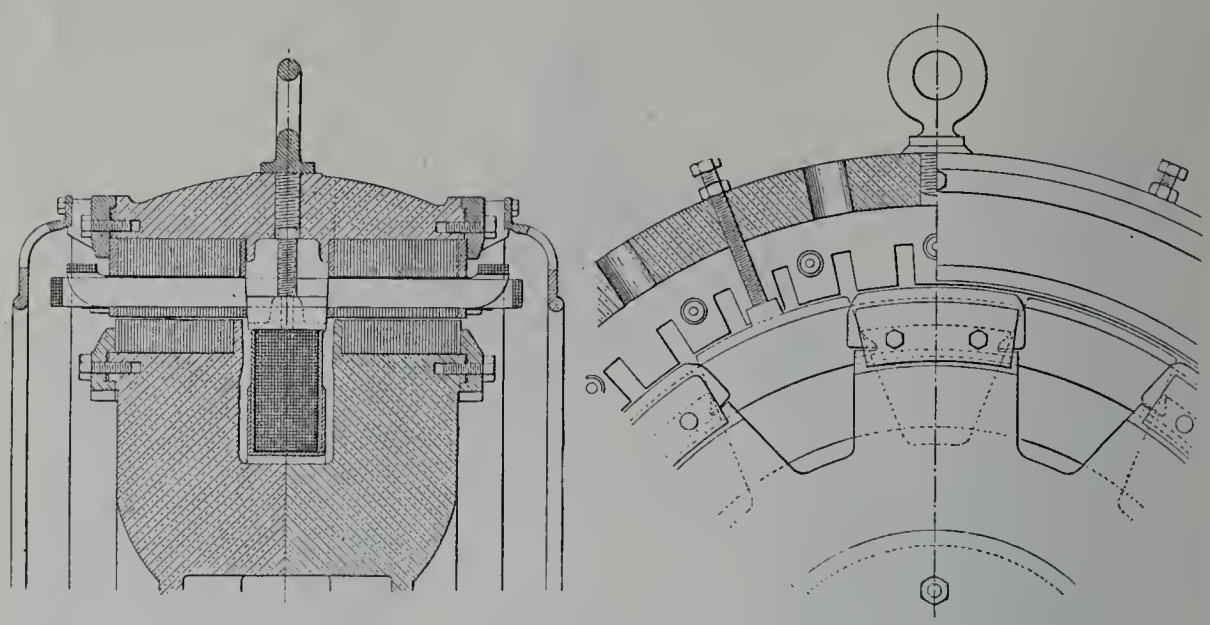


Fig. 76. — Alternateur de 290 kilovoltampères de la Société Alioth, de Bâle.

Schneider et Cie (Le Creusot). — Triphasé. 70 kilovoltampères. Caractérisé par l'application de l'enroulement Scott. Inducteur constitué par un manchon en acier coulé

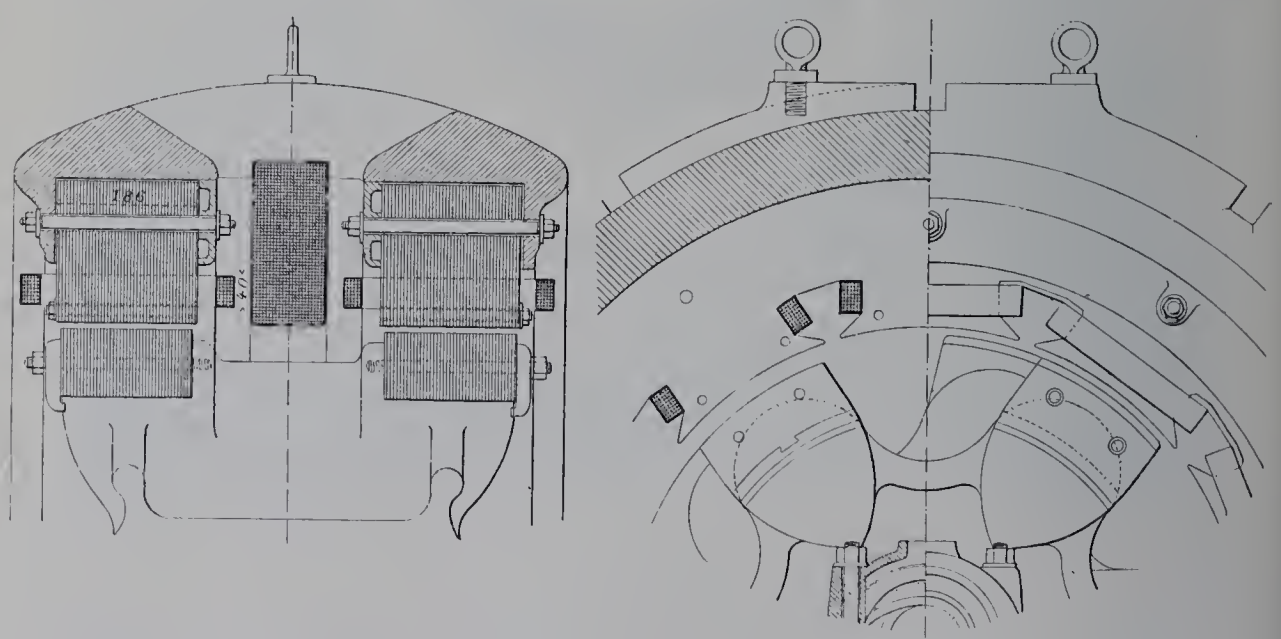


Fig. 77. — Alternateur de Ganz de 70 kilovoltampères de MM. Schneider et Cie.

portant, venues de fonte, deux séries de saillies polaires surmontées par des épanouissements polaires en tôles feuilletées maintenues dans une queue d'aronde venant se loger dans une rainure de même forme pratiquée sur la surface de la saillie en acier. Bobine inductrice logée dans la carcasse à hauteur des tôles induites (fig. 77).

Carcasse d'induit constituée par une caisse sphérique en fonte en deux parties. Tôles induites serrées par des boulons entre les rebords extérieurs de la caisse et des anneaux intérieurs. Enroulements logés dans des rainures larges légèrement fermées qui en font presque un alternateur à pôles induits. Les deux induits sont le siège de forces électromotrices déphasées d'un quart de période. Les nombres de spires dans les deux induits sont respectivement de 82 et 71, de façon à satisfaire aux conditions nécessaires pour obtenir des courants triphasés avec des courants diphasés[1].

COMPOUNDAGE DES ALTERNATEURS SYNCHRONES.

Dans une distribution générale d'énergie par courants alternatifs simples ou polyphasés, chaque alternateur doit maintenir, soit au tableau, soit aux extrémités de la canalisation qu'il dessert, une différence de potentiel efficace constante, indépendante de l'intensité du courant et du déphasage de ce courant sur la différence de potentiel.

Ce résultat n'avait été obtenu jusqu'ici qu'en réglant l'excitation de l'alternateur, soit à la main, soit par un régulateur automatique, soit par des combinaisons d'excitation variables avec la charge.

L'Exposition de 1900 a mis pour la première fois sous les yeux du public deux *excitatrices compoundeuses* qui, en principe tout au moins, résolvent complètement le problème, l'une due à M. Maurice Leblanc et l'autre à M. Paul Boucherot.

Excitatrices compoundeuses. — Ces excitatrices ont pour caractère commun l'emploi d'un induit à courant continu spécial empruntant son excitation à l'alternateur lui-même sous forme de dynamo à inducteur à champ tournant : elles diffèrent l'une de l'autre par les moyens employés pour laisser les balais fixes malgré la rotation du champ, et la réalisation du compoundage ou surexcitation automatique en fonction de l'intensité du courant et de son déphasage.

Excitatrice compoundeuse de MM. Hutin et Leblanc. — L'excitatrice compoundeuse de MM. Hutin et Leblanc se compose, en principe, d'un induit ordinaire de machine à courant continu A (fig. 78), soumis à l'influence de deux champs tournants indépendants, créés par deux « stators » B et C analogues à ceux employés dans les moteurs asynchrones. Le bobinage du stator B est relié en dérivation aux bornes de l'alternateur, celui de C est en série avec l'induit.

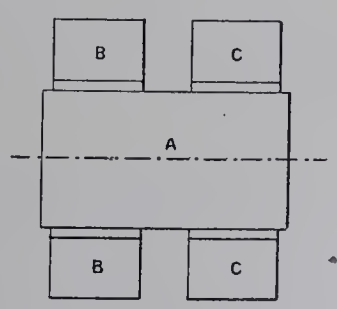


Fig. 78.

Il devient possible dans une machine à courant continu de recueillir, avec des balais fixes, le courant engendré par un champ inducteur tournant, grâce à un mode spécial de connexions.

[1] Le rapport théorique est $\frac{\sqrt{3}}{2} = 0,867$.

Le bobinage de l'induit correspond toujours à celui d'une machine ordinaire qui utiliserait n lignes de balais[1] pour n lignes de pôles, mais de l'induit au connecteur ordinaire toutes les connexions sont renversées par rapport à n axes de symétrie et, de plus, le nombre de lignes de balais n'est plus forcément égal au nombre de lignes de pôles (le nombre de touches du collecteur étant modifié en conséquence). L'un ou l'autre de ces moyens pourrait suffire à obtenir le résultat cherché : leur combinaison facilite, en pratique, la construction de la machine.

Si nous appelons n le nombre de lignes de pôles du champ tournant, k le nombre de lignes de balais, α la fréquence du courant alternatif inducteur et ω la vitesse angulaire de l'induit, la condition nécessaire et suffisante pour qu'on puisse capter le courant continu, à l'aide de balais fixes, sera :

$$n + k = \frac{\alpha}{\omega},$$

ou

$$n - k = \frac{\alpha}{\omega},$$

suivant que l'induit tournera dans le même sens que le champ, ou en sens inverse. Comme n et k sont déterminés par la construction d'une manière invariable, cette condition revient à fixer un rapport déterminé entre la vitesse angulaire de l'excitatrice et celle de l'alternateur.

Considérons une dynamo bipolaire à courant continu. Son fonctionnement ne dépend évidemment que du mouvement relatif de l'induit par rapport à l'inducteur : on peut donc supposer que l'on donne à l'ensemble, autour de l'axe, un mouvement de rotation de vitesse égale à celle de l'induit et de sens contraire : l'induit se trouve ainsi ramené au repos et l'inducteur tourne *en entraînant les balais avec la même vitesse et dans le même sens.* Nous allons chercher : à renverser le sens de la rotation qu'il faut donner aux balais par rapport à l'induit pour recueillir le courant continu; à faire varier la vitesse de ces balais, et déterminer les conditions de leur immobilité.

I. *Renversement du sens de rotation par rapport à l'induit, la vitesse des balais restant constante.* — Reprenons nos considérations précédentes. Nous avons déduit directement, d'une machine ordinaire, une machine théorique à induit fixe et à inducteurs et balais tournants.

Nous supposons toujours, pour l'instant, notre machine bipolaire. Si les inducteurs font α tours par seconde, les balais devront eux-mêmes faire dans le même temps α tours autour du collecteur. Figurons schématiquement (fig. 79) un anneau Gramme bipolaire et son collecteur. Soit à un instant donné pq la position de la ligne des balais qui correspondrait à des connexions ordinaires entre l'induit et le collecteur. Considérons un diamètre quelconque xy fixe par rapport au collecteur et supposons, comme nous l'avons dit, que toutes les connexions soient inversées par rapport à ce diamètre.

[1] On appelle ligne de pôles ou ligne de balais l'ensemble de deux pôles ou de deux balais situés aux extrémités d'un même diamètre.

Dans le schéma, les connexions ordinaires sont indiquées par des traits pointillés et les connexions vraies par des traits pleins. A la position pq correspondra évidemment $p'q'$ symétrique par rapport à xy. On voit de suite que si pq vient en p_1q_1, $p'q'$ vient en $p'_1q'_1$ en se déplaçant avec la même vitesse, mais en sens inverse (fig. 79).

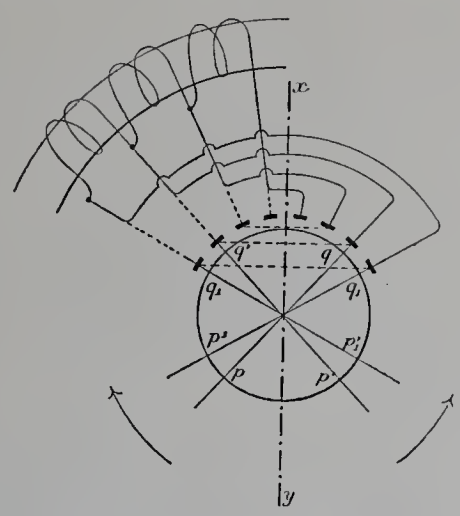


Fig. 79. — Connexion de l'enroulement induit au collecteur.

Pour une machine à n lignes de pôles, on obtiendra évidemment le même résultat en adoptant n diamètres de symétrie.

II. *Variation de la vitesse des balais.* — Considérons un induit à n pôles supposé comme précédemment réduit à l'immobilité. Avec un collecteur à n lignes de balais, ceux-ci devront tourner dans le même sens que le champ inducteur et avec la vitesse de ce champ. Mais, puisque nous admettons (théoriquement du moins) que les balais puissent se déplacer, nous pouvons à volonté disposer de leur vitesse en modifiant le nombre des lames du collecteur qui sont en parallèles, n par n. En n'en laissant, par exemple, subsister qu'un nombre n fois plus petit, il est évident que la vitesse des balais devra être n fois plus grande que celle du champ : et, pour k lignes de balais, cette vitesse deviendra égale à celle du champ, multipliée par le rapport $\frac{n}{k}$.

Balais fixes. — Considérons tout d'abord l'un des deux stators qui entourent l'induit. Désignons par n le nombre de ses lignes de pôles et par α la fréquence du courant qui l'alimente. La vitesse du champ tournant sera $\frac{\alpha}{n}$.

Supposons que l'induit tourne *dans le même sens* avec la vitesse ω. La vitesse relative du champ par rapport à l'induit sera $\frac{\alpha}{n} - \omega$.

L'induit multipolaire aura, lui aussi, n pôles. Pour k lignes de balais au collecteur, la vitesse de ceux-ci devra être, ainsi que nous l'avons démontré,

$$\frac{n}{k}\left(\frac{\alpha}{n} - \omega\right),$$

soit

$$\frac{\alpha - n\omega}{k}.$$

L'induit étant relié au connecteur ordinaire par un connecteur spécial, à renversement, le sens de cette rotation se trouve inversé par rapport à celui de l'induit.

La vitesse absolue des balais dans l'espace sera donc

$$\frac{\alpha - n\omega}{k} - \omega.$$

Pour avoir des balais fixes, on est donc condnit à la première condition annoncée, savoir :

$$n + k = \frac{\alpha}{\omega}.$$

On aurait une autre solution du problème en faisant tourner l'induit en sens inverse du champ, mais cette solution n'a pas été appliquée.

Compoundage. — Ces dispositifs permettent de recueillir avec des balais fixes un courant continu engendré par un champ tournant. On conçoit immédiatement la possibilité d'arriver au compoundage en employant, pour l'excitation de l'excitatrice, deux stators distincts, l'un relié en dérivation aux bornes de l'alternateur et l'autre en série avec le circuit induit.

Mais on peut, en disposant convenablement les deux stators l'un par rapport à l'autre, arriver à un compoundage tenant compte à la fois du débit et du décalage du courant.

Le problème revient à produire dans l'excitatrice un champ résultant ayant à chaque instant les deux propriétés caractéristiques suivantes : 1° intensité proportionnelle au courant inducteur nécessaire et, par conséquent, variable avec les différents régimes de l'alternateur; 2° direction *indépendante* des régimes. La première condition supprime la manœuvre du rhéostat d'excitation, la deuxième le décalage des balais; la machine devient ainsi auto-régulatrice d'une manière absolue, et la ligne des balais reste fixe dans l'espace, quel que soit le débit et quel que soit le déphasage du courant sur la tension.

Pour que le compoundage soit rigoureux, il faudrait que le coefficient de self-induction de l'armature restât toujours proportionnel au coefficient d'induction mutuelle de l'induit par rapport à l'inducteur. Bien qu'il n'en soit pas tout à fait ainsi, le degré d'approximation que l'on peut obtenir est largement suffisant pour les besoins de la pratique.

Excitatrice compoundeuse de M. Boucherot. — Dans l'excitatrice exposée, et construite par la Maison Bréguet, le champ tournant dans lequel se meut l'induit tourne à une vitesse angulaire de 2ω, et l'induit dans le même sens à une vitesse angulaire ω, leur vitesse angulaire relative est donc égale à ω. L'enroulement de l'induit, supposé à deux pôles, est composé, par exemple, de 16 bobines doubles enroulées à un quart de circonférence l'une de l'autre et renfermant un nombre de spires respec-

tivement proportionnel au sinus et au cosinus de l'angle que fait, à un instant donné, chacune des touches du collecteur avec une position déterminée prise comme origine (fig. 80).

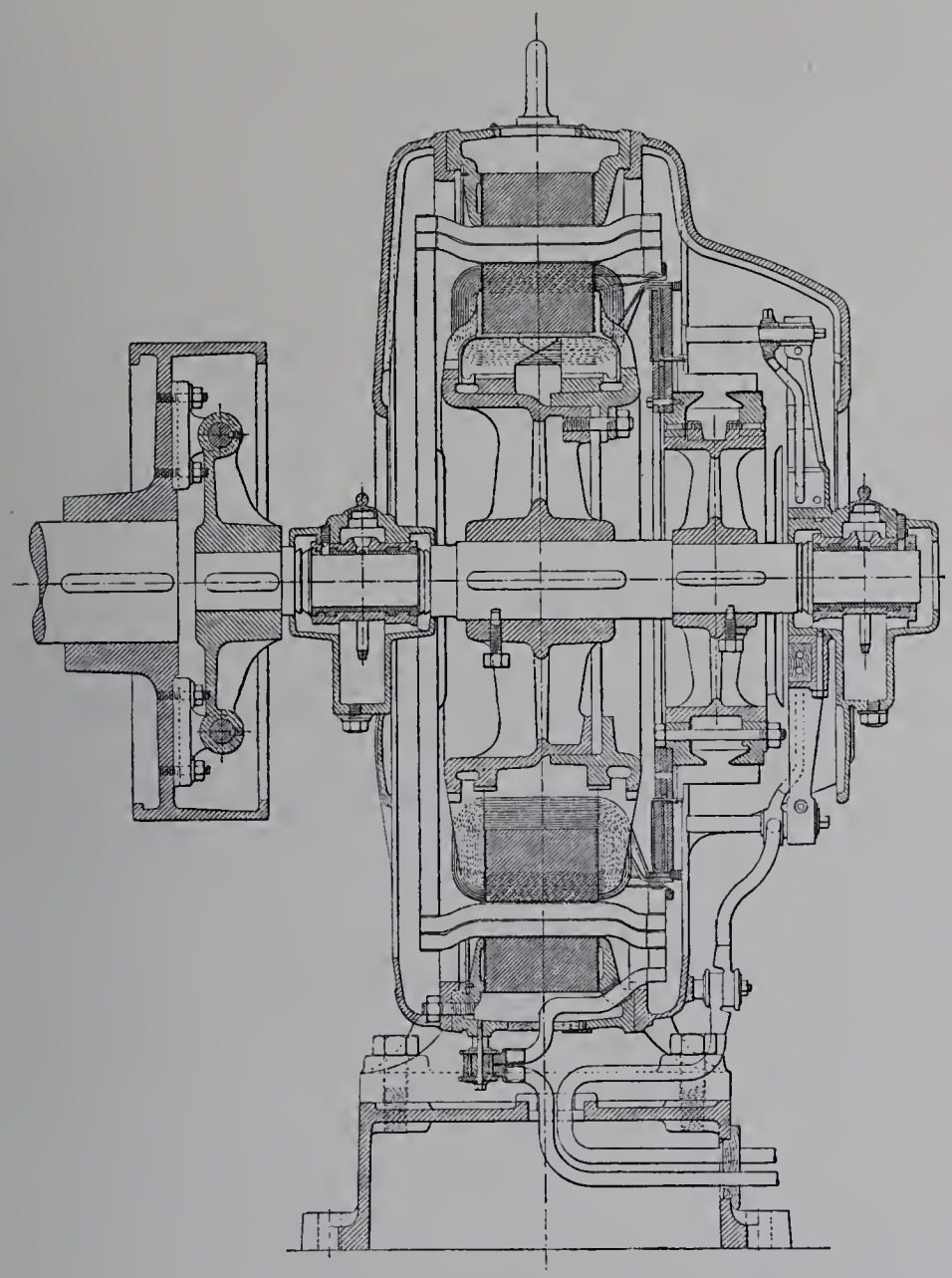


Fig. 80. — Ensemble de l'excitatrice à enroulements sinusoïdaux de l'alternateur Boucherot.

Le diagramme (fig. 81, p. 98) montre les connexions relatives à ce bobinage. Si l'on étudie les forces électromotrices développées dans chaque couple de bobines, en tenant compte de la vitesse ω avec laquelle elles se déplacent dans le champ, on constate qu'elles sont le siège de forces électromotrices périodiques égales, mais déphasées de 1/16 de période. Elles se trouvent donc exactement dans les mêmes conditions qu'un enroulement Gramme ordinaire placé dans un champ fixe et tournant à la vitesse angulaire ω.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Il suffit donc d'appliquer sur le collecteur deux balais convenablement disposés pour recueillir du courant continu que l'on envoie dans les inducteurs de l'alternateur. Ce courant est produit par une force électromotrice proportionnelle au flux inducteur de l'excitatrice[1].

Compoundage. — Pour que la tension de l'alternateur soit indépendante des courants débités et de leur phase, il suffit que le courant continu d'excitation varie suivant une certaine loi dans laquelle figurent les courants débités et leur phase. Si I_1 est la valeur du courant débité par un enroulement et φ sa phase et, s'il y a symétrie pour les trois courants de l'induit, le courant continu d'excitation doit être de la forme :

$$\sqrt{(A + BI_1 \sin \varphi)^2 + (BI_1 \cos \varphi)^2}$$

dans laquelle A et B sont des constantes dépendant des éléments de construction de l'alternateur.

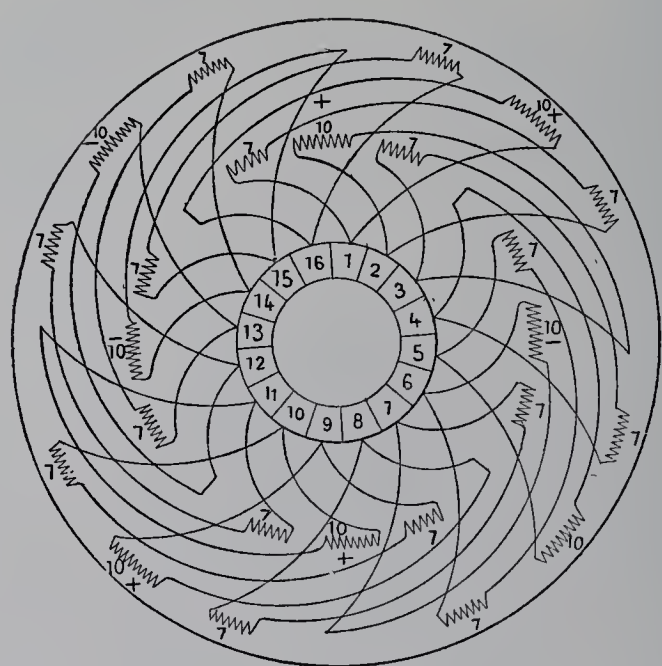


Fig. 81.

Il faut donc obtenir que, d'une façon en quelque sorte automatique, le courant d'excitation ait toujours cette valeur et varie quand I_1 et φ varient.

Mais puisque la force électromotrice continue que l'on recueille entre les balais de l'excitatrice est proportionnelle au flux inducteur de cette excitatrice, et que la différence de potentiel aux bornes de chaque enroulement de cet inducteur est aussi proportionnelle à ce flux inducteur, on peut en conclure que la force électromotrice continue recueillie entre les balais est exactement proportionnelle à la différence de potentiel aux bornes d'un des enroulements inducteurs. Il suffit donc, puisque la résistance de

[1] Avec une modification dans l'enroulement induit et un changement dans le sens relatif des vitesses angulaires, l'excitatrice de M. P. Boucherot peut compounder également un alternateur à courants alternatifs simples, mais ce dispositif n'était pas exposé.

l'inducteur de l'alternateur est constante, que la différence de potentiel aux bornes de l'un des enroulements inducteurs de l'excitatrice conserve toujours, à une constante près, une valeur égale à celle du radical ci-dessus.

C'est ce que M. Boucherot obtient par la combinaison du transformateur de compoundage avec l'alternateur et l'excitatrice en intercalant, comme le montre la figure 82,

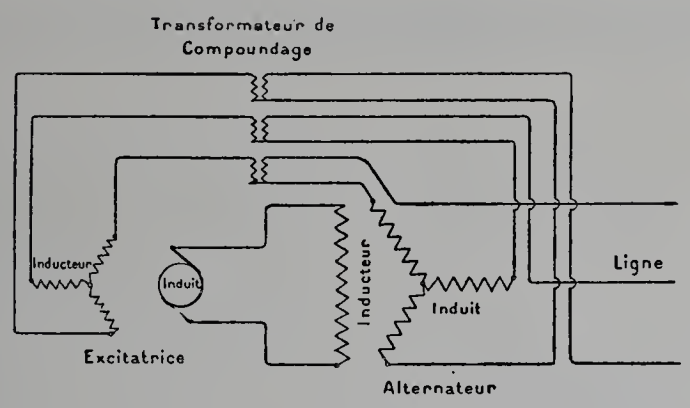


Fig. 82.

entre l'induit de l'alternateur et l'inducteur de l'excitatrice, le secondaire du transformateur de compoundage dont le primaire est branché en circuit dans le courant principal débité par l'alternateur.

Les tableaux suivants résument les principales conditions de construction et de fonctionnement des alternateurs synchrones dont nous venons de donner une description sommaire.

C. F. E.

ALTERNATEURS SYNCHRONES HÉTÉROPOLAIRES.

PÔLES PLEINS. — INDUIT DENTÉ.

ÉLÉMENTS.	GANZ ET Cie de Budapest (Hongrie).			SCHNEIDER ET Cie. [Ateliers du Creusot (France).]	COMPAGNIE INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ. Liège (Belgique).		COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE. Nancy (France).	ALLMÄNNA SWENSKA ELEKTRISKA AKTIEBOLAGET. Vesteras (Suède).	VEREINIGTE ELEKTRICITÄTS GESELLSCHAFT. Wien (Autriche.)	ELEKTRICITÄTS AKTIENGESELLSCHAFT VORMALS W. LAHMEYER UND C°. Frankfurt-a-Main (Allemagne).	KRIZIK. Prag (Bohême).	ELEKTRICITÄTS AKTIENGESELLSCHAFT VORMALS SCHUCKERT UND C°. Nürnberg (Allemagne).	HELIOS ELEKTRICITÄTS AKTIENGESELLSCHAFT. Cöln-Ehrenfeld (Allemagne).		SIEMENS UND HALSKE AKTIENGESELLSCHAFT. Wiener, Werk. Wien (Autriche).		COMPAGNIE de FIVES-LILLE. (France.)
DONNÉES PRINCIPALES.																	
Puissance apparente, en kilovoltampères	1 200	100	1 200	1 400	1 000	80	450	270	220	1 000	215	850	3 000	2 000	150		175
Facteur de puissance minimum	0,7	0,7	0,7	0,8	0,85	0,85	0,8	0,75	1	0,7	0,7	//	0,7	0,7	0,8		0,4
Puissance vraie en kilowatts pour cos φ minimum	840	70	840	1 120	850	68	360	202,5	220	700	150	//	2 100	1 400	120		70
Nature des courants	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AS.	AT.		AT.
Tension aux bornes, en volts	2 200	330	2 200	3 000	2 200	530	3 000	800	220	5 000	220	5 000	2 200		270		200
Tension par phase, en volts	2 200	191	2 200	3 000	1 270	306	1 730	462	127	2 890	127	2 890	2 200		270	156	115
Intensité du courant par phase, en ampères	182	173	182	156	262	87	87	195	525	115	565	98	788	910	185		520
Vitesse angulaire, en tours par minute	126	420	125	71,5	83,3	600	93,8	250	110,4	93,8	120	83,3	71,5		120		428
Fréquence, en périodes par seconde	42	42	50	50	50	50	50	50	46	50	32	50	50		48		50
INDUCTEURS.																	
Nombre de pôles inducteurs	40	12	48	84	72	10	64	24	50	64	32	72	84		48		14
Diamètre de l'inducteur à l'extrémité des pièces polaires, en centimètres	408,8	102	413,8	638,8	550	63,9	448,8	159,2	358	578,4	266,8	548,4	800		261		101,2
Vitesse périphérique, en mètres par seconde	27	22,5	27,2	24	24	20	22	20,8	28,7	28,8	13,7	24	30		//		//
Nature du métal des pièces polaires	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Fer.	Acier.	Acier.	Acier.		Fonte.		Acier.
Forme des pièces polaires	Rectangulaires bords arrondis.				Rectangul.	Rectangul.	Rectangulaires bords arrondis.								Rectangulaire.		Rect. b.arr.
Longueur des pièces polaires suivant l'axe, en centimètres	39	14	31	25	15	16	//	50	15	30	23	40	35		18		16
Largeur des pièces polaires, en centimètres	22	//	16 5	16	16	13,5	//	10	15	20	14	18	20		10		16
Section des pièces polaires, en centimètres carrés	860	//	512	400	240	350	//	500	225	600	330	720	700		180		256
Nature du métal des noyaux polaires	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.		Fonte.		Acier.
Forme de la section des noyaux polaires, en centimètres	Circulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Rectangul.	Ovale.	Ovale.	Circulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Ovale.	Circulaire.		Rectangulaire.		Circulaire.
Longueur de la section des noyaux polaires, en centimètres	D = 25	D = 13,5	D = 19	D = 16	D = 13,5	//	//	41	D = 11	D = 18	D = 14,5	25	D = 21		18	12	D = 16
Largeur de la section des noyaux polaires, en centimètres	23				//	//	//	7,5				12			10		
Section des noyaux polaires, en centimètres carrés	490 415	143	283	200	143	//	//	295	95	255	165	//	345		216 180		201
Nature du métal de la carcasse inductrice	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Acier.	Acier.	Acier.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.		Fonte.		Acier.
Diamètre extérieur de la carcasse inductrice, en centimètres	370	//	370	603,8	510	46	//	115	312	533	211,8	486	747		340		176
Diamètre intérieur de la carcasse inductrice, en centimètres	306,5	//	300	507,8	403	//	//	105	277	448	131	440	627		306		147
Largeur de la carcasse inductrice, en centimètres	60,5	//	71	66	61	25	//	50	40,8	84	50	60	80		40		17
Section de la carcasse inductrice, en centimètres carrés	1 400	//	1 950	2 600	2 700	//	//	450	600	3 400	1 550	850	2 150		260		190
Nombre de bobines inductrices	40	12	48	84	72	10	64	24	50	64	32	72	84		48		14
Nombre de spires par bobine inductrice	50	65	50	45	105	260	//	110	42	34	50	//	60		430		280
Nombre de circuits inducteurs en parallèle	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1
Forme du cuivre inducteur	Bande sur champ.				Fil carré.	Fil rond.	Câble plat.	Bande sur champ.				Câble plat.	Bande sur champ.		Fil rond.		Fil rond.
Largeur du cuivre inducteur, en millimètres	25	18	20	25	6,5	$d = 3,2$	//	17	37	//	20	//	//		$d = 3,05$		$d = 4$
Épaisseur du cuivre inducteur, en millimètres	3	2,2	3,5	3	6,5		//	1,1	3,5	//	3,8	//	//				
Section du cuivre inducteur, en millimètres carrés	75	40	70	75	42	8	46	18,7	129,5	//	76	//	//		7,3		12,6
Densité de courant dans l'inducteur, en ampères par mill. carré (cos φ min.)	2,4	2,25	2,86	3,07	3,81	1,81	//	2,25	//	//	2,37	//	//		1,4		//
Résistance du circuit inducteur entre bagues, en ohms	0,42 (à ch.)	0,185 (à 20 degrés).	0,45 (à ch.)	0,55 (à 25 degrés)	0,5 (à ch.).	1,2 (à ch.).	1,7 (à ch.).	2 65 (à fr.)	0,165 (à ch.).	0,25	0,22	//	0,7 (à ch.)		36,5 (à ch.)		3,95 (à ch.)
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes	1 080	125	1 030	1 550	1 610	140	1 650	395	1 200	//	595	//	3 500		900		280
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes : kilovoltampère	0,90	1,25	0,86	1,11	1,61	1,75	3 07	1,46	5,45	//	2,77	//	1,17		6		1,6
Poids de l'inducteur, en kilogrammes	20 000	880	24 000	54 000	39 000	950	10 200	3 418	10 000	54 000	7 935	2 6150	76 000		//		//

ÉLÉMENTS.	GANZ ET Cie de Budapest (Hongrie).			SCHNEIDER ET Cie. [Ateliers du Creusot (France).]	COMPAGNIE INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ. Liège (Belgique).		COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE. Nancy (France).	ALMÄNNA SWENSKA ELEKTRISKA AKTIEBOLAGET. Vesteras (Suède).	VEREINIGTE ELEKTRICITÄTS GESELLSCHAFT. Wien (Autriche).	ELEKTRICITÄTS AKTIENGESELLSCHAFT VORMALS W. LAHMEYER UND C°. Frankfurt-a-Main (Allemagne).	KRIZIK. Prag (Bohême).	ELEKTRICITÄTS AKTIENGESELLSCHAFT VORMALS SCHUCKERT UND C°. Nürnberg (Allemagne).	HELIOS ELEKTRICITÄTS AKTIENGESELLSCHAFT. Cöln-Ehrenfeld (Allemagne).	SIEMENS UND HALSKE ACTIENGESELLSCHAFT. Wiener, Werk, Wien (Autriche).	COMPAGNIE de FIVES-LILLE. (France).
INDUIT.															
Entrefer, simple en millimètres	6	4	6	6	8,5	5,5	6	4	10	8	8	8	12	5	6
Diamètre de l'induit dans l'entrefer, en centimètres	410	102,8	415	640	551,7	65	450	160	360	580	268,4	550	302,4	260	100
Hauteur radiale des tôles induites, en centimètres	22,5	17	20	19	18,5	15	//	13,5	15	25	17	10,5	18,5	10	10
Largeur totale des anneaux induits, en centimètres	34	13	28	22	13,5	22	//	48	15	30	24,2	36	30,2	18	17
Diamètre extérieur de la carcasse de l'induit, en centimètres	502,6	//	502,6	792	640	110	505	210	418	692	332	610	940	240	80
Diamètre intérieur de la carcasse de l'induit, en centimètres	455	136,8	455	678	//	//	//	187	390	630	305	575	//	200	//
Largeur totale de la carcasse de l'induit, en centimètres	90	//	85	115	90	50	56	78	65	163	90,5	90	84	36	//
Nombre de perforations par pôle	9	9	7 1/2	6	6	6	6	6	6	6	3	3	8	345/48	156/14
Nature des perforations dans l'induit	Encoches oblongues demi-fermées.				Encoches oblongues demi-fermées.		Encoches demi-fermées.			Encoches circulaires demi-fermées.		Rainures.	Encoches obl. demi-fermées.	Encoches demi-fermées.	Enc. circ. demi-ferm.
Hauteur radiale des perforations, en millimètres	//	//	//	55	47	//	//	23	24	//	$d = 47$	//	//	//	$d = 10$
Largeur des perforations, en millimètres	//	//	//	21	24,5	//	//	17	19	//		//	//	//	
Largeur des perforations dans l'entrefer, en millimètres	//	//	//	9	10	//	//	5	//	//	//	//	//	//	0,75
Nature de l'enroulement induit	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Barres.	Barres.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Barres.	Barres.
Nombre de bobines ou barres par phase	60	6	60	41	72	10	32	96	100	32	16	36	84 42	690 690	52
Groupement des bobines ou barres de chaque phase	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	4 sér. de 4 en par.	Série.	3 sér. de 28 bob. en paral. 6 sér. de 14 bob. en paral.	6 sér. de 115 3 sér. de 230 en par. en par.	Série.
Nombre de spires par bobine	4	9	4	12	5	7	12	//	//	12	9	9	9 12	//	//
Nombre de conducteurs distincts par perforation	4	3	4	6	5	7	6	2	1	6	9	9	3 6	6 6	1
Nature des conducteurs induits	Câble (19 fils de 1,6 mm.)	Câble (19 fils de 2 mm.)	Câble (19 fils de 1,6 mm.)	Câble (19 fils de 1,6 mm.)	2 fils en parall.	Fil rond.	Câble (37 fils de 0,9 mm.).	Barres.	Barres.	Fil rond.	Fil rond.	Fil rond.	Câble.	Barres.	Barres.
Largeur des conducteurs induits, en millimètres	//	//	//	//	$d = 6,4$	$d = 5,6$	//	15	//	//	$d = 8,2$	//	//	4	$d = 8$
Épaisseur des conducteurs induits, en millimètres	//	//	//	//			//	4,5	//	//		//	//	2,5	
Section des conducteurs induits, en millimètres carrés	38	60	38	38	64	24,6	29	53	300	//	212	//	//	10	50
Densité de courant dans l'induit, en ampères par millimètre carré	4,8	2,89	3,8	4,1	4,1	3,53	3	3,68	1,75	//	2,66	//	//	//	10,4
Résistance de l'induit par phase, en ohms	0,21 (à ch.)	0,022 (à fr.)	0,685 (à ch.)	0,34 (à 20 degrés).	0,125 (à ch.).	0,075 (à ch.).	0,33 (à ch.).	0,027 (à fr.).	0,005 (à ch.).	0,34	0,0054 (à ch.)	0,49	//	0,0087 (à ch.).	0,011 (à ch.).
Poids du cuivre induit, en kilogrammes	410	120	360	750	660	60	540	109	530	//	315	//	//	170	40
Poids du cuivre induit, en kilogrammes par kilovoltampère	0,340	1,2	0,300	0,535	0,66	0,75	1,2	0,405	2,64	//	1,46	//	//	1,13	0,203
Poids de l'induit, en kilogrammes	23 000	//	//	34 000	20 500 (a. p.).	800 (s. b.)	15 000 (a. p.).	4 590 (s. b.).	12 500 (s. p.)	55 000 (a. p.).	9 450 (a. p.).	14 350 (s. p.).	80 000 (s. p.).	//	//
ESSAIS.															
Courant d'excitation à vide, en ampères	86	52	120	140	110	10,6	40	27	//	131	//	//	120	5,5	26
Courant d'excitation pour obtenir l'intensité normale en court circuit	48	34	48	57	75	5,2	13,5	10	//	49	//	//	//	2,3	8,5
Courant d'excitation en pleine charge, $\cos\varphi = 1$	//	//	132	160 (p. 1 120 kw.)	136	//	45	//	//	155	//	//	//	//	28
Courant d'excitation en pleine charge, $\cos\varphi =$ minimum	180	90	200	230	160	14,5	//	42	//	//	180	//	185	10,2	//
Chute de tension en pleine charge en p. 100, $\cos\varphi = 1$	5,5	//	5,5	4 (p. 1 120 kw.)	7	8	5,5	//	//	3	//	//	//	//	//
Chute de tension en pleine charge en p. 100, $\cos\varphi =$ minimum	15	20	15	13,7	11	//	//	14	//	//	//	//	//	7,2	//
Pertes à vide, en watts	//	//	//	//	//	//	//	//	//	22 200	3 700	19 000	//	//	//
Pertes par effet Joule dans l'induit	21 000	//	18 500	28 000	26 000	2 000	7 500	3 500	4 100	13 700	5 200	14 000	//	8 900	9 000
Pertes par effet Joule dans l'inducteur, $\cos\varphi = 1$	//	//	8 000	15 600 (p. 1 120 kw.)	18 500	//	3 450	//	5 500	6 000	//	18 000	//	//	3 100
Pertes par effet Joule dans l'inducteur, $\cos\varphi =$ minimum	13 600	//	18 000	32 500	25 500	1 000	//	5 100	//	13 800	7 200	//	24 000	3 800	//
Rendements en p. 100, $\cos\varphi = 1$	//	//	//	//	//	//	//	//	//	96	//	94	//	//	//
Rendements en p. 100, $\cos\varphi =$ minimum	//	//	//	//	//	90	//	//	//	93,5	93,2	//	//	//	//

ALTERNATEURS SYNCHRONES HÉTÉROPOLAIRES.

PÔLES PLEINS. — INDUITS À TROUS.

ÉLÉMENTS.	ACTIEN-GESELLSCHAFT VORMALS JOH. JACOB RIETER UND C°. Winterthur (Suisse).	SOCIÉTÉ ANONYME « L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE ». Paris (France).	SOCIÉTÉ ANONYME « ÉLECTRICITÉ ET HYDRAULIQUE ». Charleroi (Belgique).		BROWN BOVERI UND C° Baden (Suisse).	A. GRAMMONT Pont-de-Cheruy (France).	ACTIEN-GESELLSCHAFT VORMALS JOH. JACOB RIETER UND C°. Winterthur (Suisse).	BROWN BOVERI UND C° Baden (Suisse).	SOCIÉTÉ NOUVELLE DES ÉTABLISSEMENTS DECAUVILLE AÎNÉ. Petit-Bourg (France).	SOCIÉTÉ ANONYME « ÉLECTRICITÉ ET HYDRAULIQUE » Charleroi (Belgique).	SOCIÉTÉ ANONYME « L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE » Paris (France).
DONNÉES PRINCIPALES.											
Puissance apparente, en kilovoltampères	400	1 200	760	760	1 760	860	700	410	260	350	180
Facteur de puissance minimum	0,8	0,5	0,85	0,85	0,85	0,7	0,8	0,85	0,9	1	0,7
Puissance vraie en kilowatts pour cos φ minimum	320	600	646	646	1 500	600	560	350	235	350	125
Nature des courants	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AS.	AS.
Tension aux bornes, en volts	220	5 000	2 200	2 200	6 000	2 400	3 300	200	200	2 000	30 000
Tension par phase, en volts	220	2 890	1 270	2 200	3 465	1 385	1 900	115	115	2 000	30,000
Intensité du courant par phase, en ampères	606	138	200	115	170	207	123	1 200	750	175	6
Vitesse angulaire, en tours par minute	300	79	93,8	79,7	83,3	93,8	100	92,5	120	142	428
Fréquence, en périodes par seconde	45	50	50	42,5	50	50	50	40	40	42,5	50
INDUCTEURS.											
Nombre de pôles inducteurs	18	76	64	64	72	64	60	52	40	36	14
Diamètre de l'inducteur à l'extrémité des pièces polaires, en centimètres	218	569	598	598,4	690	498,6	442,2	360	358,6	308,8	124,8
Vitesse périphérique en mètres par seconde	34,3	33.5	29,4	25	30,2	24,5	23,2	17,5	22,5	23	28
Nature du métal des pièces polaires	Fer forgé.	Acier.	Acier.	Acier.	Fer.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.
Forme des pièces polaires	Rectangulaire bords arrondis.	Rectangulaire chanfreins.	Rectangulaire bords arrondis.	Rectangulaire bords arrondis.	Rectangulaire bords arrondis.	Rectangulaire bords arrondis.	Rectangulaire bords arrondis.	Rectangulaire bords arrondis.	Rectangulaire bords arrondis.	Rectangulaire bords arrondis.	Rectangulaire chanfreins.
Longueur des pièces polaires suivant l'axe, en centimètres	30	40	25	25	33	25,5	24	30	16,5	28	42
Largeur des pièces polaires, en centimètres	21	18	15	15	20	15	13	13	16,5	13,5	19
Section des pièces polaires, en centimètres carrés	630	720	375	375	660	382	312	390	272,5	378	798
Nature du métal des noyaux polaires	Fer forgé	Acier.	Acier.	Acier.	Fer.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.	Acier.
Forme de la section des noyaux polaires	Circulaire	Rectangulaire.	Ovale.	Ovale.	Circulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Circulaire.	Ovale.	Rectangulaire.
Longueur de la section des noyaux polaires, en centimètres	D = 23	46	21	21	"	D = 16,5	D = 14,5	"	D = 14,5	23	42
Largeur de la section des noyaux polaires, en centimètres		9	11	11	"			"		10	11
Section des noyaux polaires	415	414	205	205	"	214	165	"	165	208	462
Nature du métal de la carcasse inductrice	Acier.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Acier.
Diamètre extérieur de la jante, en centimètres	164	536	565	565	630	390	580	470	322,2	168,8	97
Diamètre intérieur de la jante, en centimètres	136	402	490	490	550	"	495	410	266	222	85
Largeur de la carcasse inductrice, en centimètres	32	65	32	32	"	70	97,5	70	41	39	53
Section de la carcasse inductrice, en centimètres carrés	450	3 000	600	600	"	"	600	"	750	850	270
Nombre de bobines inductrices	18	76	64	64	72	64	60	52	40	36	14
Nombre de spires par bobines inductrices	80	44	50	50	45	70	137	80	95	176	96
Nombre de circuits inducteurs en parallèle	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nature de l'enroulement inducteur	Bande sur champ.	Fil rond.	Bande sur plat.	Bande sur plat.	Bande sur champ.	Bande sur champ.	Fil carré.	Fil rond.	Fil rond.	Fil rond.	Fil rond.
Largeur du cuivre inducteur, en millimètres	24	$d = 8$	104	104	"	19	6	"	$d = 6,2$	$d = 5,2$	$d = 7,1$
Épaisseur du cuivre inducteur, en millimètres	2		0,8	0,8	"	3	6	"			
Section du cuivre inducteur, en millimètres carrés	48	50,3	83,2	83,2	"	57	36	"	30,2	21,2	40
Densité du courant dans l'inducteur, en ampères par millimètre carré (cos φ minimum)	"	3,05	2,02	2,32	"	"	1,58	"	"	2,12	2,6
Résistance du circuit inducteur entre bagues, en ohms	0,43 (à fr.).	1,6 (à ch.).	0,7 (à ch.).	0,07 (à ch.).	0,33	0,825 (à ch.).	2,73 (à ch.).	0,95	1,65 (à ch.).	4,5 (à ch.).	0,37 (à ch.).
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes	520	1 817.5	2 100	2 100	"	1 470	1 550	"	640	920	280
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes par kilovoltampère	1,3	1,51	2,76	2,76	"	1,71	2,22	"	2,46	2,63	1,55
Poids de l'inducteur sans l'arbre, en kilogrammes	"	45 000	20 200	20 200	"	"	"	"	"	12 700	2 000

ÉLÉMENTS.	ACTIEN-GESELLSCHAFT VORMALS JOH. JACOB RIETER UND C°. Winterthur (Suisse).	SOCIÉTÉ ANONYME « L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE ». Paris (France).	SOCIÉTÉ ANONYME « ÉLECTRICITÉ ET HYDRAULIQUE ». Charleroi (Belgique).		BROWN BOVERI UND C° Baden (Suisse).	A. GRAMMONT Pont-de-Cheruy (France).	ACTIEN-GESELLSCHAFT VORMALS JOH. JACOB RIETER UND C°. Winterthur (Suisse).	BOVERI UND C° Baden (Suisse).	SOCIÉTÉ NOUVELLE DES ÉTABLISSEMENTS DECAUVILLE AÎNÉ. Petit-Bourg (France).	SOCIÉTÉ ANONYME « ÉLECTRICITÉ ET HYDRAULIQUE » Charleroi (Belgique).	SOCIÉTÉ ANONYME « L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE ». Paris (France).
INDUIT.											
Entrefer simple, en millimètres	10	5	10	8	10	7	5,5	6	7	6	6
Diamètre de l'induit dans l'entrefer, en millimètres	220	570	600	600	692	500	441,1	358,8	360	310	126
Hauteur radiale des tôles induites, en centimètres	20	9	20	20	//	17	18	//	17	17	10,5
Largeur totale des anneaux induits, en centimètres	31	40	23	23	30	25	24	27	17	25	39
Diamètre extérieur de la carcasse de l'induit, en centimètres	314	672	726,5	726,5	786	632	404	//	440	385	185
Diamètre intérieur de la carcasse de l'induit, en centimètres	260	600	//	//	//	//	//	//	//	//	158
Largeur totale de la carcasse de l'induit, en centimètres	60	72	64	64	175	62	44	//	53	65	60
Nombre de trous par pôle	9	6	6	6	6	3	3	3	3	2	3 dont 2 utiles.
Nature des trous dans l'induit	Trous circulaires	Trous oblongs.	Trous oblongs.	Trous oblongs.	Trous oblongs.	Trous oblongs.	Trous oblongs.	Trous circulaires.	Trous oblongs.	Trous oblongs.	Trous circulaires.
Hauteur radiale des trous, en millimètres	//	//	34	34	//	65	55	//	53	43	//
Largeur des trous, en millimètres	//	//	22	22	//	38	28	//	23	34	//
Nature de l'enroulement induit	Barres.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Barres.	Barres.	Bobines.	Bobines.
Nombre de bobines ou barres par phase	54	72	32	32	36	32	30	52	80	36	14
Groupement des bobines ou des barres de chaque phase	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.
Nombre de spires par bobine	//	5	6	12	12	7	12	//	//	11	156
Nombre de conducteurs distincts par trou	1	5	3	6	6	7	12	1	2	11	156
Nature des conducteurs induits	Barres.	2 câbles en parallèle.	2 câbles en parallèle.	Câble (19 fils de 1 mm. 3).	Fil rond.	Câble (37 fils de 1 mm. 5).	3 fils en parallèle.	Barres.	Barres.	Câble (19 fils de 2 mm. 5).	Fil rond.
Largeur des conducteurs induits, en millimètres	$d = 16$	//	//	//	//	$d = 10,5$	$d = 4,2$	//	$d = 18,2$	//	$d = 1,6$
Épaisseur des conducteurs induits, en millimètres		//	//	//	//			//		//	
Section des conducteurs induits, en millimètres carrés	200	40	50	25	//	65,4	41,6	//	260	33,6	2
Densité de courant dans l'induit, en ampères : millimètres carrés	3,03	3,45	4	4,6	//	3,17	2,96	//	2,88	5,2	3
Résistance de l'induit par phase, en ohms	0,005 (à ch.).	0,3 (à ch.).	0,13 (à ch.).	0,52	//	0,1 (à ch.).	0,29 (à ch.).	//	//	0,336 (à ch.).	30 (à ch.).
Poids du cuivre induit, en kilogrammes	270	715	500	500	//	590	670	//	//	170	91
Poids du cuivre induit, en kilogrammes par kilovoltampère	0,675	0,59	0,66	0,66	//	0,69	0,96	//	//	0,485	0,505
Poids de l'induit, en kilogrammes	//	17 700 (s. p.).	20 000 (s. p.).	20 000 (s. p.).	//	15 000 (s. p.).	//	//	//	7 400 (s. p.).	//
ESSAIS.											
Courant d'excitation à vide, en ampères	52	100,5	127,5	137	176	74	43	65	60	40	42,5
Courant d'excitation pour obtenir l'intensité normale en court circuit	34	40	36	43	60	34	15	35	21	12	8,1
Courant d'excitation en pleine charge. $\cos \varphi = 1$	//	113	141	155,5	193	//	//	//	//	45	//
Courant d'excitation en pleine charge. $\cos \varphi =$ minimum	//	153	168	193	232	//	57	100	//	//	104
Chute de tension en pleine charge en p. 100. $\cos \varphi = 1$	//	4	5	4	5	//	//	//	//	8	//
Chute de tension en pleine charge en p. 100. $\cos \varphi =$ minimum	//	9,8	12	10,5	14	//	//	//	//	//	11
Pertes à vide en watts	//	27 000	//	//	//	20 000	//	//	//	//	4 860
Pertes par effet Joule dans l'induit	5 500	17 200	15 600	20 500	//	12 800	13 200	//	//	10 300	1 080
Pertes par effet Joule dans l'inducteur. $\cos \varphi = 1$	//	20 500	14 000	12 000	12 300	//	//	//	//	9 100	//
Pertes par effet Joule dans l'inducteur. $\cos \varphi =$ minimum	//	37 500	19 800	26 000	17 800	//	8 900	//	//	//	4 000
Rendements en p. 100. $\cos \varphi = 1$	//	94,8	//	//	//	//	//	//	//	//	//
Rendements en p. 100. $\cos \varphi =$ minimum	//	88	//	//	//	//	//	//	//	//	92,7

ALTERNATEURS SYNCHRONES HÉTÉROPOLAIRES.

PÔLES OU ÉPANOUISSEMENTS FEUILLETÉS.

ÉLÉMENTS.	ALLEGEMEINE ELEKTRICITÄTS GESELLSCHAFT. Berlin (Allemagne).	SIEMENS ET HALSKE ELEKTRICITÄTS ACTIEN-GESELLSCHAFT. Charlottenburg (Allemagne).	SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES DE BELFORT (France).	MASCHINENFABRIK OERLIKON. Oerlikon (Suisse).	COMPAGNIE FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS THOMSON-HOUSTON. Paris (France).	COMPAGNIE DE FIVES-LILLE. (France).	COMPAGNIE «L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE». (Genève).	ELECTRICITÄTS ACTIEN-GESELLSCHAFT VORMALS KOLBEN UND C°. Prag-Vysocan (Bohême).
DONNÉES PRINCIPALES.								
Puissance apparente, en kilovoltampères	3 000	2 000	1 330	1 375	1 000	800	460	780
Facteur de puissance minimum	0,9	0,7	0,9	0,8	0,9	0,7	0,9	0,85
Puissance vraie en kilowatts pour cos φ minimum	2 700	1 400	1 200	1 100	900	560	410	665
Nature des courants	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AT.	AD.	AT.
Tension aux bornes, en volts	6 000	2 200	5 500	5 500	5 500	2 200	5 000	3 000
Tension par phase, en volts	3 465	1 270	3 170	3 170	3 170	1 270	5 000	1 730
Intensité du courant par phase, en ampères	288	525	140	145	105	210	46	150
Vitesse angulaire, en tours par minute	83,3	83,3	75	93,8	75	79	350	93,8
Fréquence, en périodes par seconde	50	50	25	50	25	50	46,6	50
INDUCTEURS.								
Nombre de pôles inducteurs	72	72	40	64	40	76	16	64
Diamètre de l'inducteur à l'extrémité des pièces polaires, en centimètres	739	598,2	537,3	499,1	354	598,6	149	555
Vitesse périphérique en mètres par seconde	32,2	26	21,8	22	14	24,8	27	27,2
Nature du métal des pièces polaires	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Tôles.
Forme des pièces polaires	Rectangulaires avec chanfreins.	Rectangulaires.	Rectangulaires.	Rectangulaires.	Rectangulaires avec chanfreins.	Rectangulaires.	Rectangulaires arrondis.	Rectangulaires bords arrondis.
Longueur des pièces polaires suivant l'axe, en centimètres	56	58	40	30	41	26	52	39
Largeur des pièces polaires, en centimètres	24	17	27,5	14	19	20	19	15
Surface des pièces polaires, en centimètres carrés	1 344	986	1 100	420	780	520	988	585
Nature du métal des noyaux polaires	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Acier.
Forme de la section des noyaux polaires	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire avec chanfreins.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Ovale.
Longueur de la section des noyaux polaires, en centimètres	56	58	40	30	41	26	52	25
Largeur de la section des noyaux polaires, en centimètres	15	14	20	11	12	13	14	15
Section des noyaux polaires	840	812	800	330	492	338	728	35
Nature du métal de la carcasse inductrice	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Acier.	Fonte.	Fonte.	Fonte.
Diamètre extérieur de la jante, en centimètres	671,8	528	477,8	440	311	556	112	485
Diamètre intérieur de la jante, en centimètres	658	470	441	380	288	470,6	97	420
Largeur de la carcasse inductrice, en centimètres	73	60	50	75	61	65	65	52
Section de la carcasse inductrice, en centimètres carrés	650	750	910	1 400	630	1 300	500	1 100
Nombre de bobines inductrices	72	72	40	64	40	76	16	64
Nombre de spires par bobines inductrices	90	40	46	54	67,5	155	//	60
Nombre de circuits inducteurs en parallèle	2	Bande sur champ.	1	1	1	2	1	1
Nature de l'enroulement inducteur	Barre.	23	Bande sur plat.	Fil rond.	Bande sur champ.	Fil rond.	Fil carré.	Bande sur champ.
Largeur du cuivre inducteur, en millimètres	//	4	110	$d = 11$	38	$d = 4,7$	//	25
Épaisseur du cuivre inducteur, en millimètres	//	92	1,2		2,3		//	4
Section du cuivre inducteur, en millimètres carrés	//	//	132	95	87,5	17,35	//	100
Densité de courant dans l'inducteur, en ampères, par millimètre carré (cos φ minimum).	//	1	1,52	1,26	//	//	//	1,05
Résistance du circuit inducteur entre bagues, en ohms	//	1 (à ch.).	0,39 (à ch.).	0,7 (à ch.).	0,8 (à ch.).	3,06 (à ch.).	//	0,728 (à ch.).
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes	//	4 000	3 100	3 200	2 950	1 650	//	3 240
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes : kilovoltampère	//	2	2 33	2,32	2,95	2 06	//	4,15
Poids de l'inducteur, sans l'arbre, en kilogrammes	70 000	38 000	26 000	//	1 8000	35 000	//	24 700

ÉLÉMENTS.	ALLEGEMEINE ELEKTRICITÄTS GESELLSCHAFT. Berlin (Allemagne).	SIEMENS ET HALSKE ELEKTRICITÄTS ACTIEN-GESELLSCHAFT. Charlottenburg (Allemagne).	SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES DE BELFORT. (France).	MASCHINENFABRIK OERLIKON. Oerlikon (Suisse).	COMPAGNIE FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS THOMSON-HOUSTON. Paris (France).	COMPAGNIE DE FIVES-LILLE. (France).	COMPAGNIE « L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE ». (Genève).	ELEKTRICITÄTS ACTIEN-GESELLSCHAFT VORMALS KOLBEN UND C°. Brag-Vysocan (Bohême).
INDUIT.								
Entrefer simple, en millimètres	10	9	11	4,5	7	7	5	5
Diamètre d'alésage de l'induit, en millimètres	741	600	540	500	355,4	600	150	556
Hauteur radiale des tôles induits, en millimètres	25,5	14,3	20	24	17,8	22,5	15	18
Largeur totale des anneaux des induits, en centimètres	52	58	40	32	39,6	27	52	39
Diamètre extérieur de la carcasse de l'induit, en centimètres	860	680	690	620	465	740	220	680
Diamètre intérieur de la carcasse de l'induit, en centimètres	812	//	588	//	//	645	//	//
Largeur totale de la carcasse de l'induit, en centimètres	120	150	115	92	102	70	109	82,4
Nombre de perforations par pôle	15	9	6	3	3	6	4	3
Nature des perforations dans l'induit	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Encoches rectangulaires demi-fermées.	Encoches rectangulaires demi-fermées.	Rainures.
Hauteur radiale des perforations, en millimètres	38	55	62	//	81	29	//	//
Largeur des perforations, en millimètres	11	13	25	//	46	15,2	//	//
Largeur des perforations dans l'entrefer, en millimètres	11	13	25	//	46	3	//	//
Nature de l'enroulement induit	Barres.	Barres.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.
Nombre de bobines ou barres par phase	360	216	20	32	20	38	16	32
Groupement des bobines ou barres de chaque phase	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.	Série.
Nombre de spires par bobine	//	//	18	11	25	5	24	6
Nombre de conducteurs distincts par perforation	1	1	9	11	25	2,5	24	6
Nature des conducteurs induits	Barres.	Barres.	Barres.	4 fils en parallèle.	Câble rectangulaire.	4 fils en parallèle.	Fil rond.	Câble.
Largeur des conducteurs induits, en millimètres	25	44	50	$d = 3,8$	5,8	$d = 3,9$	//	//
Épaisseur des conducteurs induits, en millimètres	4	7	1,4		12,2		//	//
Section des conducteurs induits, en millimètres carrés	93	308	70	45,4	55	47,8	//	//
Densité de courant dans l'induit, en ampères, par millimètre carré	3,1	1,7	2	3,2	1,91	4,4	//	//
Résistance de l'induit par phase, en ohms	0,098 (à ch.).	0 019 (à ch.).	0,29 (à ch.).	0,25 (à ch.).	0,34 (à fr.).	0 105 (à ch.).	//	//
Poids du cuivre induit, en kilogrammes	//	2 400	1 950	//	1 600	320	//	//
Poids du cuivre induit, en kilogrammes : kilovoltampère	//	1,2	1 470	//	1,6	0,400	//	//
Poids de l'induit avec ou sans les plaques de fondation, en kilogrammes	80 000 (s. p.).	44 000 (s. p.).	34 000 (a. p.)	//	20 000	33 500	//	27 000
ESSAIS.								
Courant d'excitation à vide, en ampères	//	120	140	86	110	54	17,3	86
Courant d'excitation pour obtenir l'intensité normale en court circuit	//	48	58	33	57	15	6	22,5
Courant d'excitation en pleine charge, $\cos\varphi = 1$	//	135	155 (1 200 kw.)	//	126	//	//	92
Courant d'excitation en pleine charge, $\cos\varphi =$ minimum	//	167	200	120	//	//	//	105
Chute de tension en pleine charge, en p. 100, $\cos\varphi = 1$	//	9	4 (1 200 kw.)	//	10	//	//	2,5
Chute de tension en pleine charge, en p. 100, $\cos\varphi =$ minimum	//	26	15	18	//	//	//	7,5
Pertes à vide, en watts	//	//	18 000	30 000	19 700	//	//	//
Pertes par effet Joule dans l'induit	25 000	15 700	17 100	15 800	13 700	13 900	//	//
Pertes par effet Joule dans l'inducteur, $\cos\varphi = 1$	//	28 000	13 200	//	12 700	//	//	6 150
Pertes par effet Joule dans l'inducteur, $\cos\varphi =$ minimum	31 000	//	15 600	10 100	//	//	//	8 000
Rendements, $\cos\varphi = 1$	//	//	96,2	//	95,6	//	//	//
Rendements, $\cos\varphi =$ minimum	//	//	96	96,2	//	//	//	//

ALTERNATEURS SYNCHRONES HOMOPOLAIRES

OU À FLUX ONDULANT.

ONDULÉ.	SIEMENS UND HALSKE ACTIEN-GESELLSCHAFT. Wiener Werk, Wien (Autriche).	SAUTTER, HARLÉ ET Cie. Paris (France.)	SCHNEIDER ET Cie. Ateliers du Creusot Creusot (France).	MASCHINEN-FABRIK OERLIKON. Oerlikon (France).	FARCOT FRÈRES ET Cie. Saint-Ouen (France).	MASCHINEN-FABRIK OERLIKON. Oerlikon (Suisse).	ELECTRICITATS GESELLSCHAFT ALIOTH. Basel-Münchenstein (Suisse).	SCHNEIDER ET Cie. Ateliers du Creusot Creusot (France).
DONNÉES PRINCIPALES.								
Puissance apparente, en kilovoltampères	122	60 — 45	460,8	650	835	350	190	70,1
Facteur de puissance minimum	0,82	1 — 0,75	0,85	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8
Puissance vraie en kilowats pour cos φ minimum	100	60	391,7	520	750	280	152	42,1
Nature des courants	AT.	AT.	AD.	AT.	AD.	AS.	AT.	AT (Scott).
Tension aux bornes, en volts	2 100	5 200	40	7 500	2 200	2 200	3 000	3 000
Tension par phase, en volts	1 210	3 000	40	4 330	2 200	2 200	1 730	3 000 2 600
Intensité du courant par phase, en ampères	33,5	6,7 — 5	5 760	50	190	160	36,5	13,5
Vitesse angulaire, en tours par minute	750	750	600	250	78,5	250	375	600
Fréquence, en périodes par seconde	50	50	60	50	42	50	50	50
INDUCTEURS.								
Nombre de couronnes inductrices	2	1	2	2	2	2	2	2
Nombre de saillies polaires par couronne	4	4	6	32	12	12	8	5
Diamètre de l'inducteur à l'extrémité des saillies polaires, en centimètres	76	72	147	219,2	550,2	219,2	129,3	79,5
Vitesse périphérique, en mètres par seconde	29,7	28,3	46,2	28,8	22,7	28,8	25,5	25
Nature du métal des pièces polaires	Acier.	Acier.	Acier.	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Tôles.
Forme des pièces polaires	Rectangulaire.	Rectangulaire, bords arrondis.	Rectangulaire, bords arrondis.	Rectangulaire, avec chanfreins.	Rectangulaire, bords arrondis.	Rectangulaire, avec chanfrein.	Rectangulaire, avec chanfrein.	Rectangulaire.
Longueur des pièces polaires suivant l'axe, en centimètres	18	27	27	24	27	15	17	17
Largeur des pièces polaires, en centimètres	20	25,4	28	23,5	27	23,5	26	19,88
Section des pièces polaires, en centimètres carrés	360	686	756	565	729	350	442	890
Nature du métal des noyaux polaires	Acier.	Acier.	Acier.	Tôles.	Tôles.	Tôles.	Acier.	Acier.
Forme de la section des noyaux polaires	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	//
Longueur de la section des noyaux polaires, en centimètres	15	21	//	24	27	15	17,5	//
Largeur de la section des noyaux polaires, en centimètres	20	//	//	//	20	//	24	//
Section des noyaux polaires, en centimètres carrés	300	//	//	//	540	//	420	//
Nature du métal de la carcasse inductrice	Acier.	Acier.	Acier.	Fonte.	Fonte.	Acier.	Acier.	Acier.
Diamètre extérieur de la jante, en centimètres	48	43	125	189	522	189	86	//
Diamètre intérieur de la jante, en centimètres	10	12	//	164	440	172	54	//
Largeur de la carcasse inductrice, en centimètres	57	80	30	92	91	71	48,5	65
Section de la carcasse inductrice, en centimètres carrés	1 720	1 350	//	7 000	50 000	4 800	3 520	//
Nombre de bobines inductrices distinctes	1	2	1	1	1	1	1	1
Nombre de spires par bobine inductrice	710	400	700	166	460	150	700	1 525
Forme du cuivre inducteur	Fil rond.	Fil rond.	Fil rond.	Bande sur plat.	Fil rond.	Bande sur plat.	Fil rond.	Fil rond.
Largeur du cuivre inducteur, en millimètres	//	$d = 5$	$d = 4$	60	$d = 7,5$	60	$d = 4,6$	$d = 3,5$
Épaisseur du cuivre inducteur, en millimètres	//			2		2		
Section du cuivre inducteur, en millimètres carrés	17	19,6	12,6	120	44,2	120	16,62	9,6
Densité de courant dans l'inducteur, en ampères, par millimètre carré (cos φ minimum)	1,88	1,53	//	//	//	//	//	//
Résistance du circuit inducteur, en ohms	1,63 (à ch.).	1,3 (à ch.).	5,4 (à ch.).	0,199 (à ch.).	3,5 (à ch.).	0,1 (à ch.).	2,5 (à fr.).	8,59 (à ch.).
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes	230	220	450	1 250	3 000	1 100	340	420
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes, par kilovoltampère	1,88	3,67	0,98	1,92	3,6	3,15	1,7	6
Poids de l'inducteur sans l'arbre, en kilogrammes	//	810 (a. a.).	4 964	7 600	50 000	//	//	1 470

IMPRIMERIE NATIONALE.

ONDULÉ.	SIEMENS UND HALSKE ACTIEN-GESELLSCHAFT. Wiener Werk, Wien (Autriche).	SAUTTER, HARLÉ ET Cie. Paris (France).	SCHNEIDER ET Cie. Ateliers du Creusot Creusot (France).	MASCHINEN-FABRIK OERLIKON. Oerlikon (France).	FARCOT FRÈRES ET Cie. Saint-Ouen (France).	MASCHINEN-FABRIK OERLIKON. Oerlikon (Suisse).	ELECTRICITATS GESELLSCHAFT ALIOTH. Basel-Münchenstein (Suisse).	SCHNEIDER ET Cie. Ateliers du Creusot Creusot (France).
INDUIT.								
Entrefer simple, en millimètres	10	10	5	4	6,5	4	3,5	6,5
Nombre d'induits	2	1	2	2	2	2	2	2
Diamètre d'alésage des induits, en centimètres	78	74	148	220	551,5	220	130	80,8
Hauteur radiale des tôles induites, en centimètres	10,5	10,1	15	17	22	16,5	11,5	18,5
Largeur totale des anneaux induits par couronne, en centimètres	20	27	28	25	30	15,4	18	18,6
Diamètre extérieur de la carcasse de l'induit, en centimètres	127	102	200	309	680	297	170	142
Diamètre intérieur de la carcasse de l'induit, en centimètres	100	95	//	254	596	253	154	117,8
Largeur totale de la carcasse de l'induit, en centimètres	90	80	94	128	128	109	82	71
Nombre de perforations par pôle	6	3	24	3	1	3 dont 2 utiles.	3	1
Nature des perforations dans l'induit	Encoches demi-fermées.	Encoches demi-fermées.	Encoches demi-fermées.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Encoches demi-fermées
Hauteur radiale des perforations, en millimètres	//	50	28	//	100	//	//	//
Largeur des perforations, en millimètres	//	40	5,5	//	70	//	//	//
Largeur des perforations dans l'entrefer, en millimètres	//	//	//	//	60	//	//	//
Nature de l'enroulement induit	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.	Bobines.
Disposition des bobines des induits	Sur les deux induits.	Sur un induit.	Sur chaque induit.	Sur chaque induit.	Sur chaque induit.	Sur chaque induit.	Sur les deux induits.	Sur chaque induit.
Nombre de bobines ou barres par phase	4	4	12	24	64	48	8	10 10
Groupement des bobines de chaque phase	Série.	Série.	12 en parallèle.	Série.	Série.	2 séries en parallèle.	Série.	Série. Série.
Nombre de spires par bobine	42	165	6	33	10	30	28	82 71
Nombre de conducteurs distincts par perforation	21	165	1	33	20	30	28	164 142
Nature des conducteurs induits	Fil.	Fil.	Barres.	2 fils en parallèle.	Bande sur plat.	2 fils en parallèle.	Fil rond.	Fil rond. Fil rond.
Largeur des conducteurs induits, en millimètres			25,5		38			
Épaisseur des conducteurs induits, en millimètres	$d = 3,6$	$d = 1,3$	3	$d = 3,2$	3,5	$d = 3,5$	$d = 4,2$	$d = 2,3$ $d = 2,3$
Section des conducteurs induits, en millimètres carrés	10,2	1,32	76,5	16,1	130	38,6	13,85	4,15 4,15
Densité de courant dans l'induit, en ampères par millimètres carrés (cos φ minimum)	3,28	5,07 3,8	6,27	3,1	1,46	4,15	2,64	3,25
Résistance de l'induit par phase, en ohms	1,1 (à ch.).	16 (à ch.).	0,000163 (à ch.).	1,37 (à ch.).	0,113 (à ch.).	0,253 (à ch.).	0,5 (à fr.).	3,2 2,824 (à ch.).
Poids du cuivre induit, en kilogrammes	150	60	380	600	2 100	//	150	53
Poids du cuivre induit, en kilogrammes, par kilovoltampère	1,23	1	0,83	0,92	2,52	//	0,79	0,76
Poids de l'induit, en kilogrammes	//	3 000	9 395	15 393 (s. p.)	60 000	//	//	1 700
ESSAIS.								
Courant d'excitation à vide, en ampères	25	17,6	5,85	56	25	63,5	13	15,4
Courant d'excitation pour obtenir l'intensité normale en court circuit	7,5	6,25 4,7	4,35	31	18	50	4,5	2,6
Courant d'excitation en pleine charge, cos φ = 1	//	30	//	//	//	75 (275 kw.)	15	5
Courant d'excitation en pleine charge, cos φ = minimum	32	//	//	80 (480 kw.)	//	120 (300 kw.)	//	//
Chute de tension en pleine charge, en p. 100, cos φ = 1	//	16	//	//	//	8,6 (275 kw.)	6	//
Chute de tension en pleine charge, en p. 100, cos φ = minimum	14	//	//	19 (480 kw.)	//	26 (300 kw.)	//	//
Pertes à vide, en watts	//	4 160	//	24 300 (av. frott.)	//	20 000 (av. frott.)	//	//
Pertes par effet Joule dans l'induit	3 700	2 150	//	10 300	8 200	6 500	2 300	1 100
Perte par effet Joule dans l'inducteur, cos φ = 1	//	1 170	//	//	//	910 (275 kw.)	650	//
Perte par effet Joule dans l'inducteur, cos φ = minimum	670	//	//	1 280 (480 kw.)	//	2 450 (300 kw.)	//	//
Rendements, cos φ = 1	//	88,8	//	//	//	91,5	//	//
Rendements, cos φ = minimum	//	//	//	93,5	//	92	//	//

ALTERNATEURS DIMORPHIQUES.

Société Helios (Cologne). — Le plus puissant des alternateurs exposés. Il peut fournir 2 000 kilovoltampères en courants alternatifs simples et 1 500 kilovoltampères en courants alternatifs triphasés, avec des tensions de 2 000, 3 000 ou 6 000 volts, suivant le couplage des bobines induites. Ces courants triphasés sont obtenus par une combinaison de bobinage Scott. Cet alternateur appartient, par sa construction, au groupe des alternateurs hétéropolaires à inducteurs pleins et induit fixe denté. La carcasse inductrice est en fonte, en quatre parties, sur laquelle sont montés dans des trous 84 pôles inducteurs en acier coulé, de section circulaire, fixés chacun par deux boulons traversant la jante. Épanouissements polaires venus de fonte avec les pôles. Le volant est consolidé par des flasques en tôle (fig. 83).

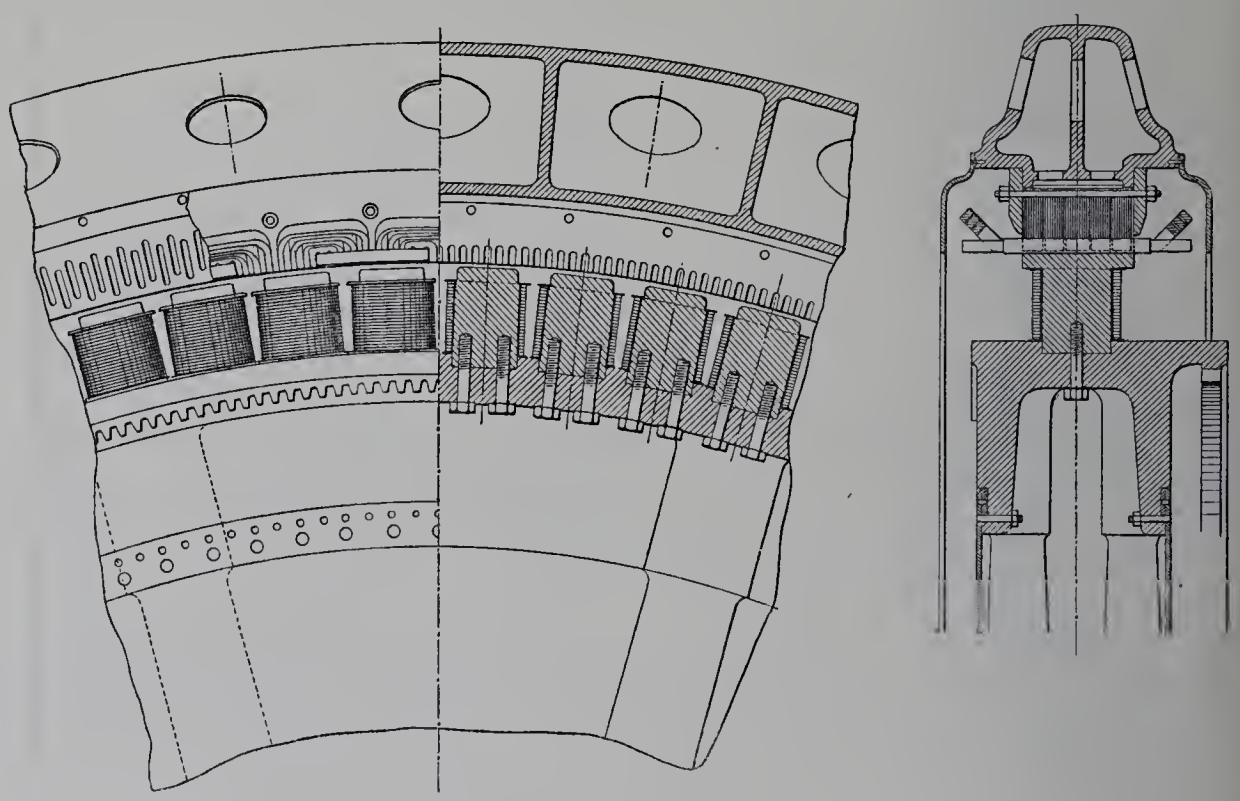


Fig 83. — Alternateur *dimorphique*, à courants alternatifs simples et triphasés, de 3 000 kilovoltampères, de la Société Helios, de Cologne.

Carcasse de l'induit de section trapézoïdale en quatre parties, alésée dans sa position naturelle pour éviter les déformations. Tôles divisées en cinq paquets. Bobinage réparti dans 672 encoches, soit 8 par pôle, dont 6 reçoivent une bobine du courant principal. Les 84 bobines du circuit principal forment trois séries de 28 bobines couplées en parallèle. Les milieux sont connectés entre eux et avec l'une des extrémités du circuit auxiliaire qui ne comporte qu'une seule bobine par paire de pôles. Les 42 bobines de ce circuit auxiliaire sont partagées en trois séries de 14 bobines montées en parallèle.

Les forces électromotrices développées dans les deux circuits, principal et auxiliaire, sont ainsi déphasées de 1/4 de période, et les forces électromotrices sont dans le rapport de $\frac{\sqrt{3}}{2}$ nécessaire pour obtenir des courants triphasés. Les petites perturbations apportées dans les tensions par les charges inégales des circuits et leurs réactions d'induit sont assez faibles pour ne pas gêner le service normal de l'alternateur.

ALTERNATEURS AUTO-EXCITATEURS.

La plupart des alternateurs exposés ont une excitatrice séparée ou, plus généralement, montée en bout d'arbre. Un seul d'entre eux était disposé pour que son bobinage à courants alternatifs triphasés fournisse également le courant continu nécessaire à son excitation.

Siemens et Halske (Vienne). — Cet alternateur auto-excitateur à courants triphasés a une puissance apparente de 150 kilovoltampères pour cos φ = 0,8. Il appartient à

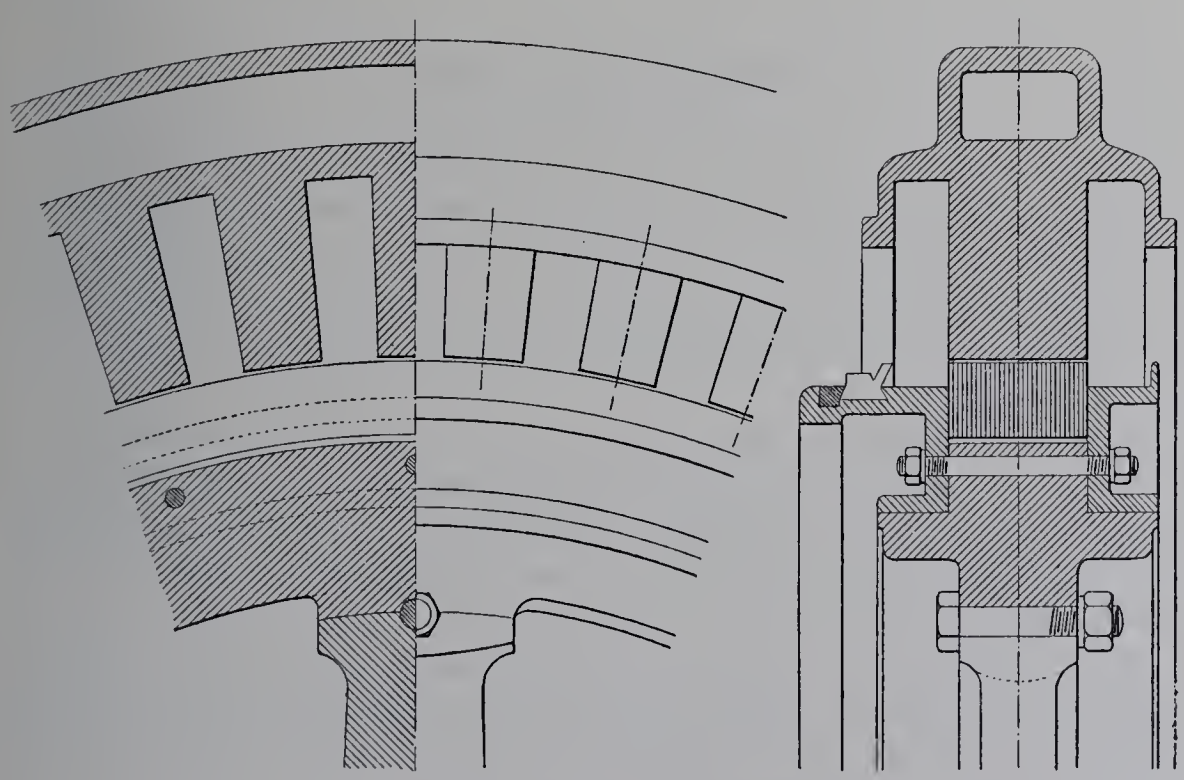


Fig. 84. — Alternateur *auto-excitateur* à pôles pleins, de 150 kilovoltampères, de MM. Siemens et Halske, de Vienne.

la classe des alternateurs hétéropolaires à inducteurs pleins en fonte et induit denté mobile. L'enroulement induit est composé de deux bobinages triphasés, l'un en étoile, l'autre en triangle, et donnant des tensions égales, ce qui permet de les coupler en dérivation. On obtient ainsi 150 volts en courant continu et 250 volts en triphasé, tout en disposant l'emploi d'un point neutre pour desservir le réseau d'éclairage (fig. 84).

Carcasse inductrice formée d'une caisse en fonte fixe en deux parties, avec dispositif de cales de réglage pour l'entrefer. Les pôles de forme prismatique sont venus de fonte avec la carcasse.

L'induit mobile forme le volant du moteur. La jante en fonte, en une seule pièce, supportée par six bras, porte deux couronnes entre lesquelles sont fixées les tôles induites, empilées sur des clavettes en queue d'aronde. Les enroulements induits sont répartis dans 345 rainures demi-fermées. Ces deux enroulements sont multipolaires, ondulés en séries parallèles. L'enroulement étoile est séries-parallèle avec six circuits en parallèle et un pas égal à 43. Le second enroulement est identique au premier et disposé dans les mêmes dents, mais il reste fermé sur lui-même et les 1 035 sections de deux conducteurs qui le composent, formant six circuits en parallèle, sont reliées aux 1 035 touches du collecteur sur lequel frottent quatre balais métalliques. Les courants alternatifs triphasés sont recueillis par quatre bagues isolées, reliées respectivement aux trois points communs aux deux enroulements, et au centre de l'enroulement en étoile. Ce bobinage spécial est dû à M. Ossanna.

II. — ALTERNATEURS ASYNCHRONES OU À PÔLES CIRCULANTS.

M. Maurice Leblanc a signalé le premier qu'un moteur asynchrone à induit fermé sur lui-même et tournant à une vitesse angulaire supérieure à celle du synchronisme, sous l'action d'une force motrice, devient générateur et produit une puissance d'autant plus grande que sa vitesse s'éloigne davantage de celle correspondant au synchronisme.

La théorie de ces appareils établit que les courants en quadrature nécessaires à leur excitation sont empruntés au réseau qui doit, par conséquent, comprendre des alternateurs synchrones définissant la fréquence, ou tout autre dispositif équivalent, tel qu'un moteur synchrone surexcité, tandis que les courants en phase sont produits par le moteur fonctionnant en générateur.

On peut aussi, au lieu de fermer l'induit sur lui-même, envoyer dans cet induit des courants dont la fréquence est égale à celle du glissement, et disposer les connexions de telle façon que le flux inducteur se déplace en sens contraire du mouvement de l'alternateur avec la vitesse même du glissement. Dans ces conditions, le flux inducteur a, par rapport à l'inducteur, une vitesse relative égale à celle qui correspond au synchronisme; il induit donc, dans les circuits reliés au réseau, une force électromotrice périodique de la fréquence voulue, mais qui n'est pas en relation simple et directe avec la vitesse angulaire de l'alternateur, toujours plus grande que celle qui correspondrait à la fréquence, de toute la valeur du glissement.

Les propriétés de ces alternateurs asynchrones à induit non fermé sont les mêmes que celles des alternateurs à induit fermé en court circuit, mais, de plus, ils peuvent

fonctionner seuls comme alternateurs synchrones, à la condition de les munir d'un système de compoundage qui maintienne la différence de potentiel constante à toutes les charges. Comme, par construction, ces alternateurs produiraient sous charge une chute de tension considérable, on les munit d'un enroulement compound, qui a pour objet de maintenir la tension constante à toutes charges.

Deux alternateurs de ce genre, qui figuraient pour la première fois en public à l'Exposition, étaient présentés, l'un par M. Maurice Leblanc, l'autre par M. P. Boucherot.

Alternateur asynchrone Maurice Leblanc. — Courants alternatifs diphasés. 60 kilovoltampères. Induit fixe, inducteur mobile. Couronne de tôles inductrices supportées par une poulie en fonte clavetée sur l'arbre. Inducteur triphasé à 6 pôles percé de 36 encoches très peu ouvertes, soit 2 encoches par pôle et par phase. Enroulement inducteur en anneau denté comporte 36 bobines, soit 12 bobines par phase. Les trois phases sont montées en triangle et communiquent avec trois bagues de prise de courant. Cet inducteur est alimenté en courants triphasés par une excitatrice compoundeuse, montée sur le même arbre.

Induit fixe formé d'une caisse cylindrique en fonte, supportant la couronne de tôles induites. Enroulement induit diphasé logé dans des encoches très légèrement ouvertes, au nombre de 48, soit 4 par pôle et par phase. Bobinage en barres réunies par des parties cintrées. Une bobine par pôle et par phase, 8 spires par bobine. Les circuits induits aboutissent, d'une part, aux prises de courant de l'alternateur diphasé et, d'autre part, à des balais qui amènent par des bagues, le courant dans l'enroulement série de l'excitatrice et le recueillent à la sortie, soit six bagues en théorie réduites à cinq en pratique. Deux autres bagues permettent de mettre l'enroulement shunt de l'excitation avec les bornes de l'alternateur.

Excitatrice : L'excitatrice calée sur le même arbre que l'alternateur a le même nombre de pôles que lui, et peut produire 10 000 watts sous 80 volts. L'excitatrice comporte une partie mobile et une partie fixe.

La partie *mobile* de l'excitatrice se compose de deux anneaux de tôle, serrés chacun dans un support en bronze. Ces noyaux portent des rainures rectangulaires dans lesquelles se loge l'enroulement aboutissant au collecteur toutes les quatre rainures. Ces rainures spéciales se terminent, vers l'intérieur, par un trou circulaire dans lequel se loge l'enroulement inducteur polyphasé.

L'enroulement inducteur diphasé dérivation est bobiné en anneau et comprend 48 bobines, soit 4 par pôle et par phase. Toutes les bobines d'une phase sont groupées en série. Cet enroulement reçoit le courant diphasé dérivé par deux bagues étroites et une troisième bague plus large, commune aux deux circuits.

Le second anneau portant l'enroulement en série porte un enroulement diphasé analogue à celui de l'alternateur formé de barres de cuivre et aboutissent à trois bagues, dont deux spéciales et une troisième plus large, commune aux deux circuits.

Sur cet anneau double est bobiné l'enroulement induit de l'excitatrice du type à

induit denté, relié à un collecteur ordinaire. Les balais de ce collecteur permettent de recueillir sur eux trois courants diphasés d'un tiers de période dans le fonctionnement en génératrice asynchrone.

La partie *fixe* de l'excitatrice est formée de deux noyaux de tôle feuilletée, maintenus dans une caisse en bronze, les deux noyaux ayant la même largeur que les deux anneaux bobinés. Ces deux noyaux fixes portent des rainures rectangulaires dans lesquelles est réparti un enroulement en anneau composé de 36 sections, à raison de 12 sections par phase. Ces 12 sections de chaque phase sont montées en dérivation entre deux cercles collecteurs, les circuits ainsi obtenus montés en série avec les trois conducteurs de l'excitation triphasée. Ce dispositif crée dans l'anneau fixe, une force magnétomotrice égale à celle de l'induit répartie de la même façon et annulant, par suite, cette réaction d'induit.

Cette combinaison assez complexe de circuits, permet de réaliser un alternateur à très faible entrefer, compoundé à toutes les charges, inductives ou non inductives.

Alternateur asynchrone Boucherot (Maison Bréguet). — Triphasé. 875 kilovoltampères. Induit fixe bobiné en moteur d'induction, inducteur mobile à courants diphasés. Inducteur volant constitué par un cylindre en fonte réuni au moyeu par six bras doubles. Noyau inducteur formé d'un anneau en tôle et supporté par trois bossages circulaires et serré entre deux anneaux de fonte. Le noyau porte 192 encoches recevant un enroulement diphasé en tambour produisant 24 pôles. Les enroulements diphasés aboutissent à des bagues de prise de courant, sur lesquelles frottent des balais métalliques, et qui reçoivent du courant d'une excitatrice compoundeuse spéciale.

Carcasse induite constituée par une caisse en deux parties, qui maintient le noyau induit formé par un anneau en feuilles de tôle. L'enroulement induit est un bobinage triphasé, réparti dans six encoches par pôle, légèrement ouvertes. Bobinage en étoile.

A l'Exposition de 1900, cet alternateur n'a fonctionné qu'en alternateur synchrone, excité par du courant continu.

ALTERNATEURS ASYNCHRONES COMPOUND.

ÉLÉMENTS.	SOCIÉTÉ P. BOUCHEROT ET Cie. Paris.	MAURICE LEBLANC.
Données principales.		
Puissance apparente, en kilowatampères	875	60
Facteur de puissance minimum	0,8	0,7
Puissance vraie en kilovolts pour cos φ minimum	700	42
Nature des courants	Triphasés.	Diphasés.
Tension aux bornes, en volts	2 200	110
Tension par phase, en volts	1 270	110
Intensité du couront par phase, en ampères	230	272
Vitesse angulaire, en tours, par minute	250	800
Fréquence, en périodes, par seconde	50	40
Inducteurs.		
Nombre de pôles inducteurs	24	6
Diamètre de l'inducteur, en centimètres	219	73,3
Vitesse périphérique, en mètres, par seconde	28,7	30,7
Hauteur radiale des tôles inductrices, en centimètres	20,5	10,4
Largeur totale des anneaux inducteurs, en centimètres	60	16,5
Nature de l'enroulement inducteur	A D.	A T.
Nombre de perforations par pôle	8	6
Nature des perforations	Encoches rectangulaires demi-fermées.	
Hauteur radiale des perforations, en millimètres	94,5	63
Largeur des perforations, en millimètres	13	33
Largeur des perforations dans l'entrefer	5	6
Genre de l'enroulement inducteur	Tambour.	Anneau.
Nombre de bobines par phase	24	12
Groupement des bobines de chaque phase	Série.	Série.
Nombre de spires par bobine	20	72
Nombre de conducteurs distincts par perforation	10	72
Nature des conducteurs inducteurs	Câble.	Fil rond.
Largeur des conducteurs inducteurs, en millimètres	//	$d = 4$
Épaisseur des conducteurs inducteurs, en millimètres	//	
Section des conducteurs inducteurs, en millimètres carrés	//	12,56
Densité de courant dans l'inducteur, en ampères, par millimètre carré (cos φ min.)	//	// 0,93 (à fr.).
Résistance de l'inducteur par phase, en ohm	0,5	225
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes	//	3,75
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes, par kilovoltampère	//	//
Induit.		
Entrefer simple, en millimètres	5	3
Diamètre d'alésage de l'induit, en centimètres	220	73,9
Hauteur radiale des tôles induites, en centimètres	20,5	//
Largeur totale des anneaux induits, en centimètres	60	16,5

ÉLÉMENTS.	SOCIÉTÉ P. BOUCHEROT ET Cie. Paris.	MAURICE LEBLANC.
Diamètre extérieur de la carcasse de l'induit, en centimètres	309	102,5
Diamètre intérieur de la carcasse de l'induit, en centimètres	261,5	//
Largeur totale de la carcasse de l'induit, en centimètres	110	19,5
Nombre de perforations par pôle	6	8
Nature des perforations dans l'induit	Encoches demi-fermées.	
Hauteur radiale des perforations, en millimètres	70	48
Largeur des perforations, en millimètres	18	32
Largeur des perforations dans l'entrefer, en millimètres	5	6
Nature de l'enroulement induit	Tambour.	Tambour.
Fombre de bobines par phase	12	6
Groupement des bobines de chaque phase	Série.	Série.
Nombre de spires par bobine	12	8
Nombre de conducteurs distincts par perforation	6	6
Nature des conducteurs induits	Bande sur plat.	Bande sur plat.
Largeur des conducteurs induits, en millimètres	//	25
Épaisseur des conducteurs induits, en millimètres	//	6
Section des conducteurs induits, en millimètres carrés	//	150
Densité de courant dans l'induit, en ampères, par millimètre carré	//	1,81
Résistance de l'induit par phase, en ohms	//	0,0069 (à fr.).
Poids du cuivre induit, en kilogrammes	//	160
Poids du cuivre induit, en kilogrammes, par kilovoltampère	//	2,67
ESSAIS.		
Courant d'excitation à vide, en ampères	140	28
Courant d'excitation pour obtenir l'intensité normale en court circuit, en ampères	97	91
Pertes par effet Joule dans l'induit, en watts	//	1 180

TRANSFORMATEURS.

Les transformateurs sont des appareils qui modifient les *éléments* ou la *forme* d'un courant électrique.

Suivant que cette transformation est instantanée ou différée, on les divise en *Transformateurs instantanés* ou *immédiats* et en *Transformateurs différés* ou *accumulateurs*. Les accumulateurs ressortissent à la Classe 24 (Électro-chimie), nous ne nous en occuperons pas ici.

TRANSFORMATEURS INSTANTANÉS OU IMMÉDIATS.

Les transformateurs qui modifient les *éléments*, tension et intensité, d'un courant électrique, sont dits *homomorphiques*. Ceux qui modifient la *forme* du courant et, éventuellement, ses éléments sont dits *hétéromorphiques*.

A. — TRANSFORMATEURS HOMOMORPHIQUES.

COURANT CONTINU EN COURANT CONTINU.

La transformation du courant continu en courant continu se fait généralement sous la forme indirecte, à l'aide de *moteurs-générateurs*.

L'emploi d'un moteur à courant continu actionnant une dynamo à courant continu, se justifie par le fait que le procédé sépare électriquement le circuit moteur, généralement à haute tension, du circuit générateur à basse tension, condition nécessaire pour la sécurité dans des appareils comportant des circuits mobiles.

La Compagnie « l'Industrie électrique », de Genève, exposait son système de distribution en série, sur lequel nous reviendrons plus loin, à propos de la distribution, et qui constitue un bel exemple d'application des transformateurs homomorphiques de courant continu en courant continu.

C'est dans le même groupe que doivent figurer un certain nombre de dispositifs utilisés dans la distribution de l'énergie et qui, suivant les applications qu'ils reçoivent, portent le nom de *survolteurs, dévolteurs, régulatrices, compensatrices*.

Régulatrices ou compensatrices. — Dans les distributions par courant continu et à potentiel constant, à trois fils (deux fois 110 volts), les dynamos produisent *directement* la tension totale de 220 ou de 440 volts (plus les pertes en ligne), et il faut disposer d'un moyen permettant de fractionner cette différence de potentiel totale en parties égales, de la répartir sur plusieurs *ponts* sur lesquels se brancheront les appareils d'utilisation à 110 volts. Il faut que la mise en service à volonté de tous ces appareils, en

nombre et en puissance variables à chaque instant sur chaque pont, ne modifie pas sensiblement la différence de potentiel fournie à chacun d'eux.

Pour obtenir ce résultat, on emploie le dispositif indiqué, dès 1888, par M. le professeur *Élihu Thomson*. Ce dispositif, que nous allons supposer appliqué à une distribution à trois fils (deux ponts de 110 volts), est constitué par deux dynamos shunt, dont les induits sont montés en tension entre eux, en dérivation sur les 220 volts, et reliés mécaniquement. Les deux ponts sont constitués par les fils extrêmes et un troisième fil branché sur la connexion des deux balais. Les induits tournent à une certaine vitesse angulaire fonction de l'excitation, et, par raison de symétrie, le potentiel du fil intermédiaire est tel qu'il divise exactement en deux parties égales la tension entre les fils extrêmes. Il ne passe dans les induits que le faible courant nécessité par la marche à vide des deux dynamos. Il en est de même tant que les appareils d'utilisation sur les deux ponts absorbent des puissances égales. Mais si l'un des ponts vient à être plus chargé que l'autre, la différence de potentiel sur l'un des ponts diminue légèrement, tandis qu'elle augmente d'autant sur l'autre pont. A ce moment, la dynamo du pont le moins chargé *reçoit* du courant et fonctionne en moteur, puisque sa force électromotrice est plus petite que la différence du potentiel qui lui est appliquée. La dynamo du pont le plus chargé *fournit* du courant et fonctionne en génératrice, puisque sa force électromotrice est plus grande que la différence de potentiel entre ses bornes. Cette action réciproque *compense* l'action perturbatrice et la réduit à une valeur pratiquement négligeable, surtout si les induits ont une très faible résistance intérieure. En dernière analyse, le compensateur rétablit l'égalité de puissance dépensée sur les deux ponts à chaque instant, en *puisant* cette puissance sur le pont le moins chargé et en la *versant* sur le pont le plus chargé.

C'est, à la fois, un répartiteur de puissance et un *coupeur de volts* en parties égales. Ce que nous avons dit pour les trois fils s'applique également aux cinq fils, et l'Exposition en offrait un exemple. La Classe 25 avait besoin de courant à la tension de 110 volts. On l'a obtenu en coupant en quatre, à l'aide d'une régulatrice constituée par quatre dynamos Gramme de 110 volts chacune, les 440 volts fournis par la distribution à courant continu des services électriques généraux.

Le Secteur de la place Clichy utilise également des régulatrices ou des compensatrices pour *couper en quatre* la tension de 440 volts fournie directement par les dynamos génératrices.

Survolteurs à courant continu. — Un survolteur est, en principe, une dynamo auxiliaire, destinée à augmenter ou à diminuer la tension d'un réseau électrique.

L'appareil exposé par la Société alsacienne de Constructions mécaniques a pour but de mettre automatiquement en charge ou en décharge la batterie d'accumulateurs d'un réseau de tramways. Lorsqu'une batterie d'accumulateurs est installée en quantité avec les génératrices d'un réseau de tramways, elle ne se charge que lorsque la tension des génératrices augmente considérablement, et ne se décharge sur le réseau, pour venir en aide aux génératrices, que lorsque la tension de ces dernières s'abaisse d'une façon très

sensible. Il en résulte des écarts de tension considérables à chaque variation de débit sur la ligne. Le survolteur automatique est destiné à éviter cet inconvénient en réglant la charge et la décharge de la batterie suivant l'intensité du courant de la ligne.

Il se compose d'un moteur à 550 volts, alimenté par le réseau, et d'un générateur capable de survolter de 150 volts un courant de 150 à 200 ampères. La génératrice est munie de deux enroulements inducteurs : l'enroulement en dérivation est branché aux bornes de la batterie; l'enroulement en série, enroulé en sens inverse du premier, est parcouru par le courant de la ligne.

Lorsque le débit de la ligne est nul, la génératrice, sous l'influence de l'excitation en dérivation, produit la tension nécessaire à la charge de la batterie, qui se trouve ainsi sous une tension de $550 + 150 = 700$ volts. Lorsqu'il y a appel de courant sur la ligne, ce courant, en traversant l'enroulement série, produit un champ démagnétisant qui diminue la tension fournie par la génératrice. Pour une certaine valeur du courant de la ligne, la tension s'annule et la batterie se trouve ainsi mise en parallèle avec les génératrices de la station, à la tension normale de 550 volts, prête à se décharger sur la ligne, si le débit vient encore à augmenter.

Comme, d'une part, la charge de la batterie se fait d'elle-même lorsque le débit sur le réseau est nul, et que, d'autre part, cette batterie ne vient en aide aux génératrices de la station que lorsque l'appel de courant dépasse une certaine limite, les variations brusques du courant sont évitées aux génératrices, et ces machines peuvent fonctionner d'une façon continue à une charge voisine de la pleine charge, c'est-à-dire dans les meilleures conditions de rendement.

Survolteurs et dévolteurs. — Dans certaines installations, on n'a quelquefois à modifier que la tension du courant primaire. S'il s'agit de courants triphasés, cette opération s'effectue simplement à l'aide de transformateurs triphasés décrits plus loin.

S'il s'agit de courant continu, on se sert de dynamos accouplées directement ou par courroie, et fonctionnant l'une comme moteur, l'autre comme génératrice. Le moteur reçoit le courant primaire qu'il s'agit de transformer, et actionne la génératrice qui débite le courant secondaire.

On donne à ces appareils le nom de survolteurs ou de dévolteurs, suivant que la tension à obtenir est supérieure ou inférieure à celle du courant continu qu'il s'agit de transformer.

Le plus souvent, les deux machines, réceptrice et génératrice, ont leurs induits calés sur le même arbre, et leurs socles fixés sur un bâti commun. Ce dispositif réduit au minimum les dimensions d'encombrement de l'appareil, grâce à la suppression des paliers intermédiaires. Dans d'autres cas, les deux machines montées sur des bâtis séparés, sont reliées mécaniquement par un accouplement élastique Raffard ou Zodel.

Ces appareils sont employés principalement dans les grandes installations d'éclairage comportant des batteries d'accumulateurs et un système de distribution à trois ou à cinq fils; les survolteurs peuvent être branchés tantôt sur la batterie, pour en faciliter la charge,

tantôt sur un pont du réseau de distribution pour élever la tension du courant, tension qui tendrait à s'abaisser par suite d'une surcharge momentanée de ce pont.

COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES EN COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES.

Dans ce groupe figurent les *transformateurs* proprement dits, dont l'Exposition de 1889 ne renfermait que quelques types de faible puissance, et dont les tensions ne dépassaient pas 2 000 volts.

On les établit aujourd'hui avec des puissances qui atteignent 2 500 kilowatts et des tensions de 20 000 à 30 000 volts pour les applications industrielles, et jusqu'à 50 000 et même 100 000 volts pour les essais industriels de câbles et d'isolateurs.

Après avoir reçu bien des formes et bien des dispositions plus ou moins compliquées, le transformateur est devenu aujourd'hui un appareil très simple constitué, en principe, par un circuit magnétique entouré de deux circuits électriques, le circuit inducteur et le circuit induit. Le circuit magnétique est généralement constitué par deux noyaux en feuilles de tôle douce mince et isolées, réunis par des traverses constituées de la même façon. Le métal doit avoir un faible coefficient de Steinmetz, c'est-à-dire présenter aussi peu d'hystérésis que possible. Ce circuit doit être le moins réluctant possible et offrir les plus grandes facilités de refroidissement.

Les circuits électriques, toujours en cuivre pour la haute tension, quelquefois en aluminium pour la basse tension, doivent s'imbriquer le mieux possible, afin de réduire la dispersion magnétique. Ils sont disposés concentriquement ou alternés, *sandwichés*. Le circuit à basse pression est souvent en barres nues, séparées par du papier isolant ou de l'amiante, roulées directement sur le noyau, afin de réduire la longueur de l'enroulement.

Les transformateurs de petite puissance ont toujours une surface suffisante pour le refroidissement. Les transformateurs puissants, au contraire, malgré leur rendement plus élevé, s'échauffent davantage. On empêche un échauffement exagéré en prévoyant, dans la construction, une circulation d'air autour des noyaux et des bobines, en faisant de la ventilation artificielle, ou en plongeant le transformateur dans de l'huile de pétrole dense renfermée dans une cuve métallique ronde ou prismatique à ailettes, en vue de faciliter le rayonnement et la convection. L'huile sert à conduire la chaleur dégagée dans le transformateur sur les parois de la cuve qui la refroidit.

Proportions des transformateurs. — Un transformateur alimentant un réseau de lumière doit fournir une tension aussi constante que possible sous différentes charges, car les transformateurs sont des appareils qui ne doivent nécessiter aucun service autre que des visites à larges intervalles. La constance de la tension sous charge variable est nécessaire par le fait qu'il n'arrive jamais que tous les transformateurs d'une installation soient également chargés, tandis que la tension primaire est tenue régulièrement constante à la station génératrice.

L'abaissement de tension des transformateurs d'éclairage n'est, suivant la puissance, que de 1,5 à 3 pour 100 entre marche à vide et pleine charge, la tension primaire supposée constante. Le rendement industriel est de 93 à 98 pour 100, la perte dans le fer variant entre 1 et 4 pour 100 suivant la puissance. Le rendement journalier d'un transformateur constamment branché sur le réseau est donc très élevé, ce qui est très important pour les installations utilisant la vapeur comme force motrice.

Les transformateurs pour distribution d'énergie sont proportionnés autrement que les transformateurs d'éclairage. En effet, une mise en marche facile des moteurs exige que l'abaissement de tension produit par leur mise en circuit soit aussi faible que possible, même sous charge variable des moteurs. Or, ceci est d'autant plus difficile à obtenir que la chute de tension produite par le déphasage du courant est bien supérieure à celle causée par la résistance ohmique des bobines. Il est donc nécessaire de dimensionner largement les transformateurs et de les construire de façon que, même en cas de surcharge momentanée, la perte de tension soit aussi petite que possible; on amoindrit ainsi le rendement du transformateur à faible charge; ceci n'a toutefois qu'une importance secondaire, car, dans le transport et la distribution de l'énergie, c'est le rendement en charge normale qui entre surtout en ligne de compte, ainsi que dans toutes les applications pour lesquelles le transformateur fonctionne longtemps à pleine charge et peu de temps à vide.

Toutes les maisons importantes construisant des alternateurs et des moteurs électriques construisent également des transformateurs, et il serait fastidieux d'en faire ici l'énumération ou une description, car tous les types sont à peu près analogues.

Nous donnerons seulement, à titre d'exemple, quelques renseignements sur un transformateur à noyau et à enroulements concentriques, des Ateliers d'Oerlikon, représenté figure 85, page 129.

Ateliers d'Oerlikon. — Les noyaux verticaux sont formés de feuilles de tôle de 0,3 mm. d'épaisseur, isolées par des feuilles de papier. Les enroulements sont constitués par des bobines cylindriques concentriques séparées par un manchon en matière isolante. La bobine de grosse intensité est toujours à l'intérieur, afin de réduire la longueur du circuit électrique, et, par suite, sa résistance. Voici les données relatives aux types courants exposés :

Fréquence		50 périodes par seconde.
Échauffement accepté	du fer	60° C.
	du gros fil	60° C.
	du fil fin	40° C.

Le transformateur est constitué par deux colonnes verticales et deux traverses verticales, dont la longueur est égale à $8\sqrt{S}$, S étant la section des colonnes en tôles sur lesquelles sont disposés les enroulements.

Dans le tableau ci-après :

P est la puissance utile, en kilowatts;

$\mathfrak{B}$, l'induction, en kilogauss;

S, la section des noyaux, en centimètres carrés;

l, la longueur des noyaux, en centimètres;

$\frac{I_1}{s_1}$, la densité du courant dans le gros fil, en ampères par millimètre carré;

$\frac{I_2}{s_2}$, la densité du courant dans le fil fin, en ampères par millimètre carré;

$\frac{NI_0}{l}$, la force magnétisante à vide, en ampères-tours par centimètre;

η, le rendement, en pour 100, à pleine charge non inductive.

P.	$\mathfrak{B}$ (max.).	S.	l.	$\frac{I_1}{s_1}$.	$\frac{I_2}{s_2}$.	$\frac{NI_0}{l}$.	η.
kilowatts.	kilogauss.	cm².	cm.	A : mm².	A : mm².	A-t : cm.	p. 100.
2	7,5	55	15	1,1	1,0	80	92,5
4	7,5	75	21	1,1	1,0	80	94,0
6	7,5	95	24	1,06	1,0	90	94,0
10	7,5	120	27	1,0	1,3	100	95,0
20	7,0	170	38	1,0	1,5	100	95,5
30	7,0	220	43	1,0	1,5	110	96,0
50	6,5	280	52	1,1	1,5	120	96,5
75	6,5	330	65	1,1	1,5	120	97,6
100	6,5	400	67	1,0	1,4	140	97,0
150	6,0	490	77	1,0	1,5	150	97,0
200	6,0	670	88	1,0	1,4	150	97,5
300	6,0	720	100	1,0	1,3	160	98,0
400	5,5	850	125	1,0	1,3	160	98,0

COURANTS ALTERNATIFS POLYPHASÉS EN COURANTS ALTERNATIFS POLYPHASÉS.

Transformateurs diphasés. — L'emploi des courants diphasés est beaucoup moins fréquent que celui des courants triphasés, et cela justifie la rareté de transformateurs spéciaux établis pour ces courants. En pratique, la transformation de courants diphasés en courants diphasés s'obtient par *deux* transformateurs à courants alternatifs simples (dits *monophasés*), alimentés l'un par le circuit sinus et l'autre par le circuit cosinus. On pourrait cependant réaliser un transformateur diphasé unique avec trois noyaux magnétiques reliés par deux traverses. Les noyaux extrêmes recevraient chacun l'un des deux bobinages, et le noyau du milieu, sans bobinage, servirait de retour commun aux deux flux magnétiques. L'emploi de deux transformateurs distincts est tout aussi avantageux, plus symétrique et n'exige pas une construction spéciale; aussi ne construit-on pas, en général, de transformateurs diphasés d'une forme spéciale.

Transformateurs triphasés. — La transformation des courants alternatifs triphasés en courants alternatifs triphasés peut s'obtenir en employant trois transformateurs à courants alternatifs simples, dont les primaires sont convenablement couplés entre eux, en étoile ou en triangle, en Y ou en Δ, en enroulement ouvert ou en enroulement fermé. Cette solution, la plus simple, est cependant la plus coûteuse et la plus encombrante; aussi préfère-t-on, en général, établir des transformateurs spéciaux constitués, en principe, par trois noyaux magnétiques à axes parallèles réunis par des culasses. Ces trois axes sont tantôt dans un même plan, tantôt disposés aux trois sommets d'un triangle équilatéral. La première solution est moins encombrante, la seconde est plus symétrique: elles jouissent actuellement d'une égale faveur, et l'Exposition renfermait un certain nombre d'appareils appartenant à l'un ou l'autre type. Ces transformateurs fonctionnent dans les mêmes conditions de rendement que les transformateurs à courants alternatifs simples.

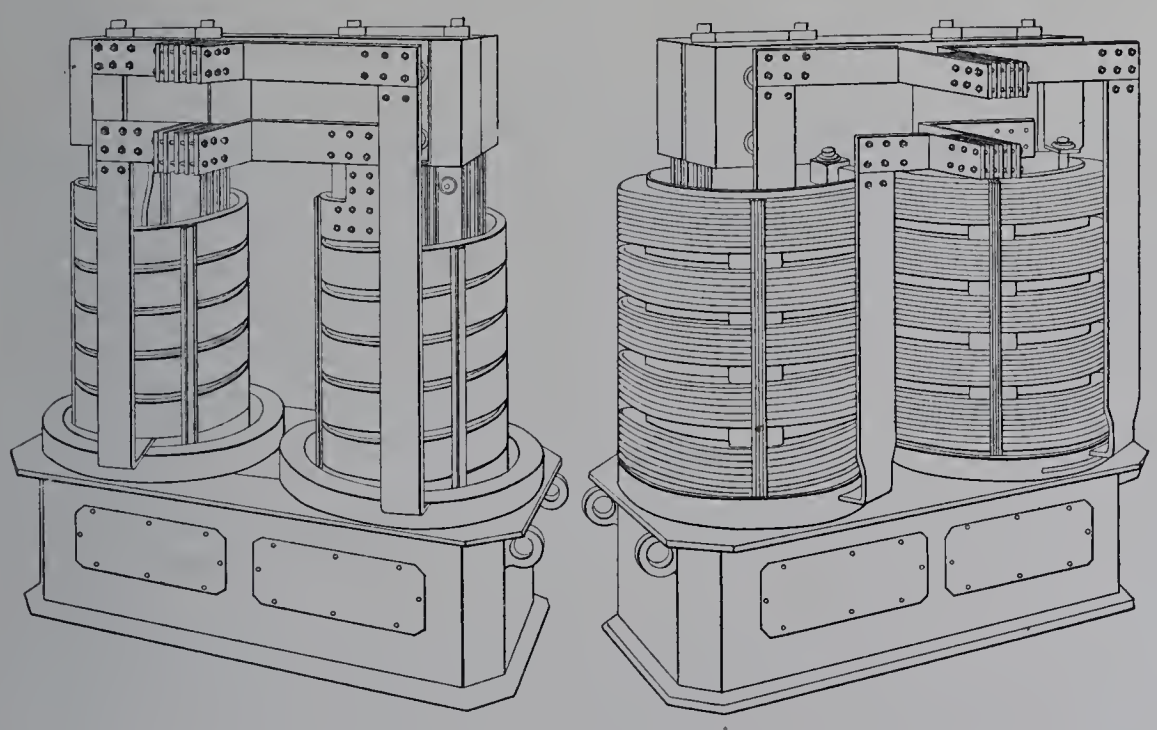


Fig. 85. — Transformateur à courants alternatifs simples des Ateliers d'Oerlikon.

Transformateurs hexaphasés. — Les transports d'énergie se font généralement par courants triphasés; mais, lorsque le courant triphasé doit être transformé en courant continu par une commutatrice, il y a avantage à le transformer en courant hexaphasé.

L'emploi du courant à six phases au lieu du courant triphasé a l'avantage d'augmenter considérablement la puissance d'une commutatrice de dimensions données; à échauffement égal, un induit donné peut produire 100 kilowatts s'il est alimenté en courant triphasé, et 145 kilowatts s'il est alimenté en courant hexaphasé. Le courant alternatif pénètre dans l'induit par un nombre de connexions double, et la perte par effet Joule est sensiblement diminuée de ce fait.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Les transformateurs alimentés à courant triphasé dans leur circuit primaire permettent d'obtenir, sans difficulté, le courant à six phases. Plusieurs couplages du secondaire donnent le résultat voulu et s'appliquent, en général, à tous les transformateurs triphasés.

Celui qui assure la plus grande simplicité dans la construction des transformateurs et dans leurs connexions est celui présenté par la Société alsacienne de constructions mécaniques. Dans ce montage, les primaires sont couplés en triangle et les extrémités des secondaires reliées simplement, sans autres connexions, à deux bagues de la commutatrice. Cette solution donne au démarrage une légère difficulté; on la supprime complètement par l'emploi, entre transformateur et commutatrice, d'un interrupteur triple qui, pendant les périodes d'arrêt, isole électriquement la commutatrice du réseau.

Poids et rendements. — Le tableau ci-dessous donne les poids et rendements à pleine charge non inductrice d'un certain nombre de transformateurs exposés.

POIDS (EN KILOGRAMMES) ET RENDEMENTS À PLEINE CHARGE NON INDUCTIVE (EN POUR 100) DES TRANSFORMATEURS À COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES OU POLYPHASÉS.

PUISSANCE EN KILOWATTS.	COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES.								COURANTS ALTERNATIFS TRIPHASÉS.					
	OERLIKON.		PACKARD.		COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE NANCY.		DECAUVILLE.		COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE NANCY.		LAHMEYER.		ELEKTRICITATS ACTIEN-GESELLSCHAFT KOLBEN.	
	POIDS.	RENDEMENT.	POIDS.	RENDEMENT.	POIDS.	RENDEMENT.	POIDS.	RENDEMENT	POIDS.	RENDEMENT	POIDS.	RENDEMENT.	POIDS.	RENDEMENT.
1...	//	//	68	95,0	60	91,0	80	92,5	//	//	150	91,0	100	92,0
2..	130	92,5	97	96,0	90	93,0	//	//	//	//	170	92,0	//	//
3...	//	//	132	96,5	//	//	155	94,0	170	93,5	220	93,0	155	92,0
4...	220	94,0	155	96,6	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
5...	//	//	182	96,7	160	95,0	280	94,0	350	95,0	315	93,5	280	93,0
10...	340	95,0	286	97,3	320	96,0	400	96,0	450	96,0	425	94,0	450	95,0
15...	//	//	368	97,3	370	96,0	//	//	560	96,0	555	95,0	//	//
20...	570	95,5	523	97,5	420	96,5	//	//	720	96,0	655	95,5	//	//
25...	//	//	637	97,5	550	96,5	722	97,5	980	96,5	//	//	722	96,5
30...	675	96,0	682	97,5	650	96,5	//	//	1 200	96,5	870	96,0	//	//
40...	//	//	//	//	800	97,0	1 000	97,5	1 500	96,5	1 010	96,0	1 000	96,5
50...	910	96,5	//	//	1 100	97,0	//	//	1 800	96,5	//	//	1 250	97,0
65...	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	1 575	96,5	//	//
75...	1 200	97,0	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	1 700	97,0
80...	//	//	//	//	1 500	97,0	//	//	2 400	97,0	1 825	96,5	//	//
100...	1 600	97,0	//	//	1 700	97,0	//	//	2 800	97,5	2 120	97,0	2 100	97,0
125...	//	//	//	//	//	//	//	//	3 250	97,5	2 400	97,0	//	//
150...	2 000	97,0	//	//	//	//	//	//	3 700	97,5	2 800	97,0	//	//

TRANSFORMATEURS DIVERS.

Nous mentionnerons ici quelques appareils établis en vue d'applications spéciales.

Autotransformateurs. — On désigne sous ce nom un dispositif qui permet de fractionner, en parties égales ou inégales, une différence de potentiel alternative donnée. L'autotransformateur est constitué par une bobine de self-induction branchée sur une différence de potentiel : en certains points convenablement choisis de l'enroulement de cette bobine, sont établies des dérivations sur lesquelles se branchent les appareils d'utilisation qui reçoivent ainsi une différence de potentiel telle que son rapport à la différence de potentiel totale soit sensiblement égal au rapport du nombre de spires comprises entre les deux points au nombre total de spires de la bobine. L'enroulement unique joue donc à la fois le rôle de circuit inducteur et de circuit induit : de là le nom d'*autotransformateur*.

Les autotransformateurs étaient employés, à l'Exposition, pour le démarrage des moteurs asynchrones, par les Ateliers de construction d'Oerlikon et par M. Weismann pour son système d'éclairage électrique par lampes à basse tension. Dans ce dernier cas, la bobine de l'autotransformateur est divisée en cinq parties égales. La différence de potentiel totale de 110 volts fournie à ses bornes se trouve divisée en cinq parties indépendantes de 22 volts chacune, ce qui permet d'alimenter à volonté 1, 2, 3, 4 ou 5 lampes, et d'en éteindre un nombre quelconque sans perturber le régime des lampes restantes. Dans ce cas, l'autotransformateur joue le même rôle que les compensatrices ou régulatrices dans les distributions à courant continu.

Transformateurs-régulateurs. — Dans une installation de commutatrices, il est souvent nécessaire que la tension du courant continu puisse être réglée dans de grandes limites. Ce réglage est généralement obtenu par une variation correspondante de la tension du courant alternatif d'alimentation. Chaque fois que ce réglage est demandé, les transformateurs sont susceptibles d'un changement de rapport entre les spires primaires et secondaires. On obtient ce résultat en disposant sur l'enroulement différentes prises qui aboutissent aux touches d'un cadran de réglage, combiné pour que la tension puisse varier graduellement en passant d'une prise à l'autre. La Société industrielle d'électricité (Procédés *Westinghouse*) exposait un transformateur-régulateur de ce système.

Survolteur triphasé de la Société alsacienne de Constructions mécaniques. — Cet appareil permet de faire varier une tension triphasée quand cette tension est fournie constante par une station centrale, ou, inversement, il permet de maintenir aux extrémités d'une ligne une tension constante lorsque la tension de la génératrice est variable, lorsqu'il faut compenser les chutes de tension produites par le passage du courant à travers les câbles, et lorsque l'on emploie des commutatrices et qu'il s'agit de varier la tension continue, comme c'est le cas pour une charge d'accumulateurs, par exemple,

où la tension à la fin de la charge doit être de 30 p. 100 plus élevée qu'au commencement.

Cet appareil ressemble à un moteur asynchrone triphasé, bobiné, mais dans lequel l'enroulement intérieur joue le rôle d'inducteur et reste immobile pour chacune des positions de réglage. Le survolteur constitue ainsi un transformateur triphasé à induction mutuelle variable. Le réglage de cette induction mutuelle est obtenu par le simple déplacement de la partie mobile, déplacement qui peut être fait à la main ou par un petit moteur commandant, par vis sans fin, une roue dentée fixée sur l'arbre du survolteur.

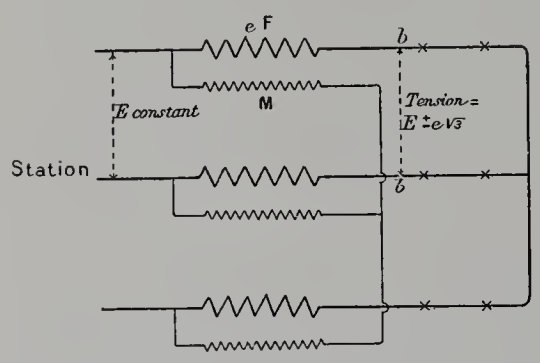


Fig. 86.

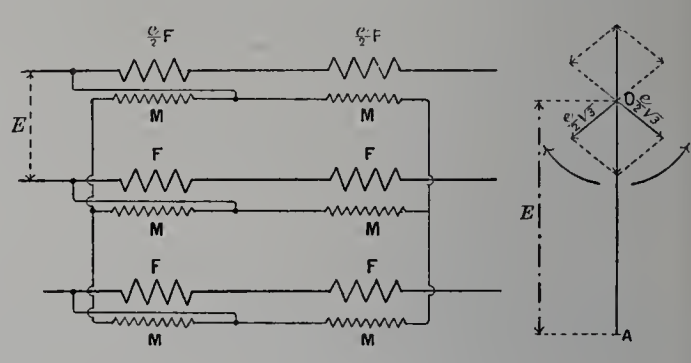


Fig. 87.

Survolteur triphasé de la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

Les enroulements de la partie fixe F (fig. 86) sont intercalés en série dans les trois lignes triphasées. L'enroulement de la partie mobile est branché sur la ligne et produit ainsi un champ tournant qui induit dans la partie fixe F une tension *e* constante, mais qui, selon les positions respectives des enroulements, se trouve déphasée sur la tension principale.

Cet appareil présente quelques inconvénients. En effet, comme les enroulements sont parcourus par du courant, l'arbre est soumis à un couple et il faut mettre un frein pour l'empêcher de tourner, et, pour déplacer la partie M dans le sens opposé au couple, il faut développer un effort assez grand. Cet appareil produit également un déphasage variable entre la tension E et la tension résultante.

Ces deux inconvénients sont complètement supprimés dans la disposition adoptée par la Société alsacienne de Constructions mécaniques, et qui consiste à monter deux survolteurs sur le même arbre. Les enroulements fixes F sont en série; mais les deux enroulements mobiles M sont disposés de façon que le sens de rotation du champ soit inversé dans l'un des moteurs.

L'un des moteurs tendant à tourner à gauche, l'autre à droite, l'arbre est simplement soumis à un effort de torsion, mais n'a plus aucune tendance à tourner, et la partie mobile M peut être déplacée très facilement.

De plus, on voit que si AO (fig. 87) représente la tension de la ligne, les tensions résultantes se trouvent toutes dans la direction de la ligne AO. Le déphasage est ainsi évité.

Pour régler une tension constante, ce survolteur peut être rendu automatique par

l'adjonction d'un relais monté à l'endroit où la tension doit être constante. Ce relais actionne un inverseur qui donne un contact tel qu'il fait tourner le moteur soit à droite, soit à gauche, suivant le résultat à obtenir.

Régulateurs d'induction. — Ces appareils, dont la Compagnie française Thomson-Houston exposait quelques types, poursuivent le même but que les survolteurs et l'atteignent par des moyens analogues. Les enroulements primaires sont disposés sur le noyau mobile d'une cage analogue à celle d'un moteur d'induction; ils sont couplés en étoile ou en triangle. Les connexions avec le circuit sont établies en câbles flexibles, en vue de permettre un déplacement relatif des circuits sans contacts glissants. Les enroulements secondaires sont intercalés dans les circuits à survolter. Le refroidissement est assuré par une circulation d'air, d'huile ou d'eau froide. Le réglage qui s'obtient par déplacement des circuits inducteurs par rapport aux circuits induits est commandé à la main ou automatiquement.

B. — TRANSFORMATEURS HÉTÉROMORPHIQUES.

COURANTS ALTERNATIFS EN COURANT CONTINU.

La transformation des courants alternatifs (simples ou polyphasés) en courant continu s'obtient à l'aide de trois groupes d'appareils distincts : les *moteurs-générateurs*, les *commutatrices* ou *convertisseurs* et les *permutatrices*.

I. — Moteurs-générateurs [1].

Comme son nom l'indique, le moteur-générateur est un appareil de transformation constitué par un moteur à courants alternatifs (simples ou polyphasés) actionnant une dynamo à courant continu. La transformation est indirecte, car la puissance électrique est d'abord transformée en puissance mécanique, et celle-ci est, à son tour, transformée en puissance électrique. Il n'y a donc pas de disposition spéciale propre à ces appareils qui peuvent utiliser, en principe, un moteur synchrone ou asynchrone et une dynamo à courant continu, shunt, série ou compound, de puissance équivalente.

L'Exposition présentait un certain nombre de moteurs-générateurs exposés par les Ateliers d'Oerlikon, la Société des Etablissements Postel-Vinay, la Compagnie industrielle d'électricité (procédés Westinghouse), etc.

Bien que le prix soit plus élevé et le rendement plus faible que le prix et le rendement d'une commutatrice de puissance égale, on donne cependant la préférence au moteur-générateur dans les cas suivants :

1° Lorsque la fréquence est trop faible, ce qui augmente le prix du transformateur

[1] Certains auteurs désignent les moteurs-générateurs sous le nom de *Transformateurs rotatifs*. En réalité, tous les transformateurs électromagnétiques dans lesquels intervient le courant continu sont des transformateurs rotatifs, car ils exigent tous un commutateur et, par suite, des pièces tournantes.

alimentant la commutatrice : le moteur synchrone ou asynchrone est alors relié directement au réseau;

2° Lorsque la fréquence est trop élevée et la puissance à transformer trop grande, ce qui rend la construction des commutatrices difficile;

3° Lorsque la charge du réseau est soumise à des variations brusques de charge qui occasionneraient des variations brusques de tension, variations qui ne se produisent pas avec un moteur synchrone et n'occasionnent que des variations de courant dans le moteur à courants alternatifs.

En tout cas, le moteur-générateur fournit la solution la plus générale du problème de la transformation d'un courant de forme A en courant de forme B, car il permet de modifier à la fois la tension, l'intensité, la forme et la fréquence.

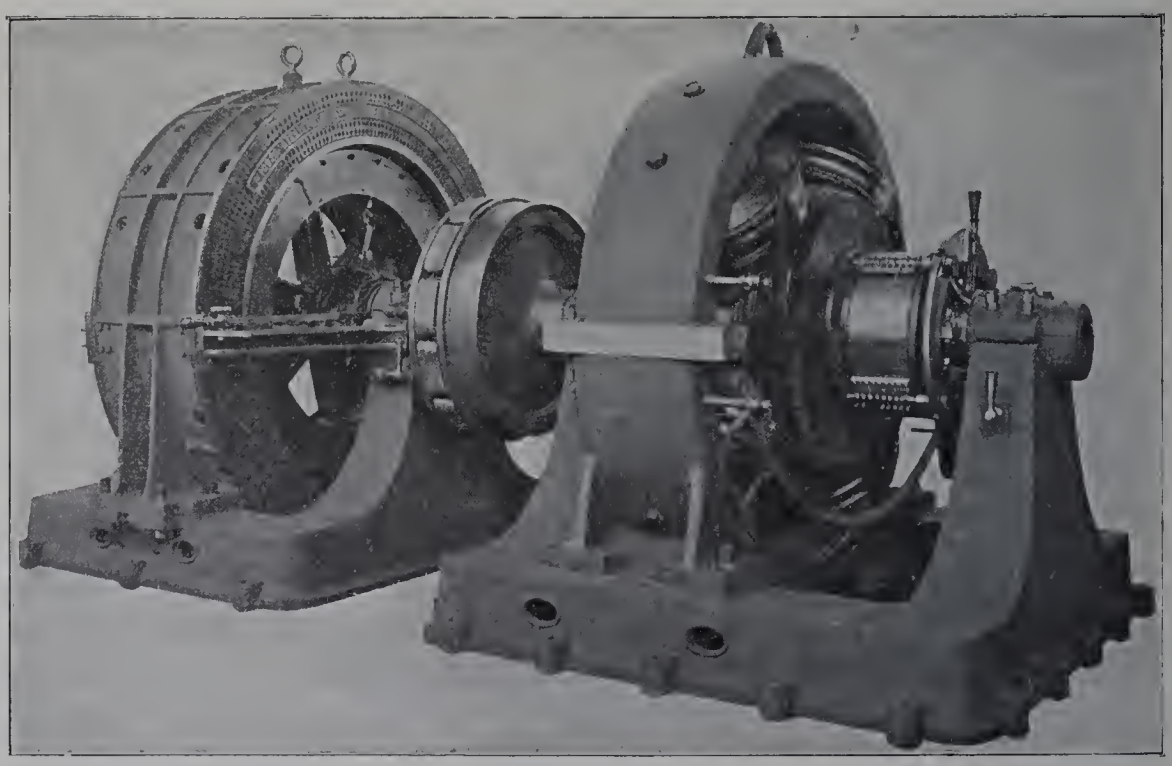


Fig. 88. — Moteur-générateur de 200 kilowatts, des Ateliers d'Oerlikon.

Nous représentons, à titre d'exemple, un moteur-générateur de 200 kilowatts, présenté par les Ateliers d'Oerlikon (fig. 88).

Il est constitué par un moteur à courants triphasés asynchrone de 225 kilowatts, 1 950 volts, 110 ampères, actionnant une dynamo à courant continu de 200 kilowatts, 550 volts, 360 ampères. Cet ensemble avait, à pleine charge, un rendement industriel voisin de 90 p. 100.

Les Établissements Postel-Vinay exposaient également un moteur triphasé synchrone actionnant une dynamo à courant continu. L'application de ce dispositif est tout indiquée pour les circuits d'éclairage, car la vitesse du moteur synchrone reste indépendante des

fluctuations du potentiel sur la ligne, ce qui assure une grande régularité à la distribution du courant continu.

La Société industrielle d'électricité (procédés Westinghouse) employait pour la transformation des courants alternatifs à 5 000 volts et 25 périodes par seconde en courant continu à 550 volts actionnant la plate-forme tournante et le chemin de fer électrique, des moteurs asynchrones Westinghouse actionnant directement des dynamos à courant continu.

II. — Commutatrices.

Une *commutatrice*, ou *convertisseur*, est un appareil constitué en principe par un induit à courant continu placé dans un champ magnétique, auquel on amène des courants alternatifs simples, diphasés ou triphasés par des bagues convenablement reliées à l'enroulement. On recueille du courant continu sur le collecteur. Ces appareils firent pour la première fois leur apparition en public en 1891 à l'Exposition de *Francfort-sur-le-Mein*. Ils ont reçu, depuis, un grand développement, parallèle à celui des alternateurs polyphasés, qui sont utilisés à la transmission à grande distance, et dont les courants sont transformés aux points d'utilisation en courant continu pour les tramways et la charge d'accumulateurs.

Un certain nombre de commutateurs étaient exposés par la Société d'applications industrielles (procédés Alioth), la Société alsacienne de constructions mécaniques, la Compagnie française Thomson-Houston, la Compagnie Siemens et Halske, de Vienne.

Les commutatrices sont caractérisées par une faible réaction d'induit, ce qui rend la commutation facile à toutes charges, et l'absence d'efforts mécaniques sur les parties tournantes, ce qui permet de leur donner une vitesse angulaire et une vitesse tangentielle plus grandes qu'aux dynamos à courant continu de mêmes dimensions. Elles sont établies pour des puissances qui atteignent 1 500 kilowatts, et des fréquences comprises entre 25 et 60 périodes par seconde. Au delà, la construction devient difficile et coûteuse, à cause du nombre de pôles nécessaire pour limiter la vitesse angulaire et la commutation.

Les commutatrices ne diffèrent des dynamos que par leurs proportions et l'adjonction, sur le côté opposé au collecteur, de bagues reliées à l'enroulement induit, et qui reçoivent les courants à transformer par des frotteurs métalliques.

Les éléments de construction et de fonctionnement de la plupart des commutatrices exposées sont résumés dans les tableaux des pages 142 à 144.

Réglage des commutatrices. — Le rapport des tensions efficaces du courant polyphasé et du courant continu reste sensiblement constant pour un appareil donné; il est indépendant de l'excitation dont la variation agit seulement sur le facteur de puissance, et sur le déphasage entre l'intensité du courant qui traverse la commutatrice et la différence de potentiel qui l'alimente.

Pour faire varier la tension aux balais, on doit avoir recours à un transformateur à

rapport de transformation variable, ou à une bobine de self-induction intercalée dans le circuit alternatif, entre le transformateur et le convertisseur. Dans ce dernier cas, il suffit d'augmenter l'excitation pour que les réactions exercées dans le circuit alternatif augmentent la tension du réseau et, par suite, celle produite entre les balais du convertisseur. Une réduction de l'excitation produit l'effet inverse.

En intercalant une self-induction sur le courant alternatif, le convertisseur peut être ainsi compoundé et même surcompoundé, comme une dynamo à courant continu ordinaire, la combinaison de l'excitation et de la self-induction permettant de modifier le phasage du courant par rapport à la différence de potentiel qui alimente la commutatrice.

On peut encore employer des transformateurs intercalés entre l'alternateur et le convertisseur, munis d'enroulements primaire et secondaire dont on fait varier le nombre de spires, et, par suite, le rapport de transformation.

On peut encore employer un convertisseur auxiliaire monté en tension avec le convertisseur principal et alimenté par un circuit distinct. Par le réglage des excitations des deux convertisseurs, on peut amener le facteur de puissance de l'ensemble à une valeur très voisine de l'unité.

L'accroissement de tension peut être enfin obtenu par une dynamo-série dont les inducteurs et l'induit sont intercalés dans le circuit à courant continu, et qui reçoit son mouvement du convertisseur lui-même, l'arbre des deux appareils étant commun.

Démarrage des commutatrices. — Les commutatrices doivent être amenées à la vitesse correspondant au synchronisme par des artifices ou des dispositifs auxiliaires. Ceux que l'on emploie le plus généralement sont les suivants :

Lorsqu'on dispose de courant continu provenant soit d'une autre commutatrice, soit d'une batterie d'accumulateurs, on met en marche en envoyant ce courant du côté continu, comme un moteur à courant continu ordinaire. On accroche le côté alternatif lorsque le synchronisme et la coïncidence de phase ou symphasisme sont atteints.

Lorsqu'on n'a pas de courant continu à sa disposition, la mise en vitesse et en synchronisme est obtenue *à vide* à l'aide d'un petit moteur asynchrone monté sur le prolongement de l'arbre de la commutatrice et portant deux pôles de moins qu'elle.

Lorsque le moteur asynchrone est lancé à toute vitesse, la commutatrice est animée d'une vitesse supérieure à celle du synchronisme : on coupe alors le courant du moteur asynchrone, l'ensemble ralentit lentement et on accroche lorsque le synchronisme et le symphasisme sont atteints.

On peut enfin faire démarrer une commutatrice en utilisant l'action de l'hystérésis des inducteurs et des courants de Foucault induits dans les pièces massives de ces inducteurs. La tension est alternative tant que le synchronisme n'est pas atteint, et la fréquence est égale au glissement; elle est mise en évidence par une lampe ou une série de lampes montées en dérivation sur les balais. Lorsque le synchronisme est atteint, on ferme l'excitation, puis le circuit d'utilisation. Le démarrage ainsi réalisé exige des courants intenses qui perturbent le réseau et créent des tensions exagérées dans le circuit inducteur au commencement du démarrage. Ce circuit inducteur doit donc être bien isolé, et, dans

certains cas, sectionné en plusieurs parties pour que les forces électromotrices développées au démarrage et s'ajoutant en tension n'atteignent pas une valeur dangereuse pour l'isolement des inducteurs.

Pour éviter un courant trop intense au moment du démarrage, on intercale dans le circuit triphasé un compensateur formé de trois rhéostats inductifs que l'on supprime graduellement, ou on fait usage d'auto-transformateurs qui réduisent la tension totale au moment du démarrage et permettent de l'augmenter graduellement, sans prendre à aucun moment un courant excessif sur la ligne.

Il est avantageux de faire démarrer simultanément l'alternateur et la commutatrice chaque fois que cela est possible.

La polarité n'est pas définie par le sens de la rotation et peut varier à chaque mise en route, si l'on n'a pas pris de précaution spéciale : il faut donc la vérifier ou en provoquer le sens par une source locale.

COMMUTATRICES À INDUCTEURS PLEINS.

Compagnie française Thomson-Houston. — Triphasés en continu. 300 kilowatts. Carcasse inductrice en fonte en deux pièces. Noyaux en acier coulé boulonnés sur la carcasse.

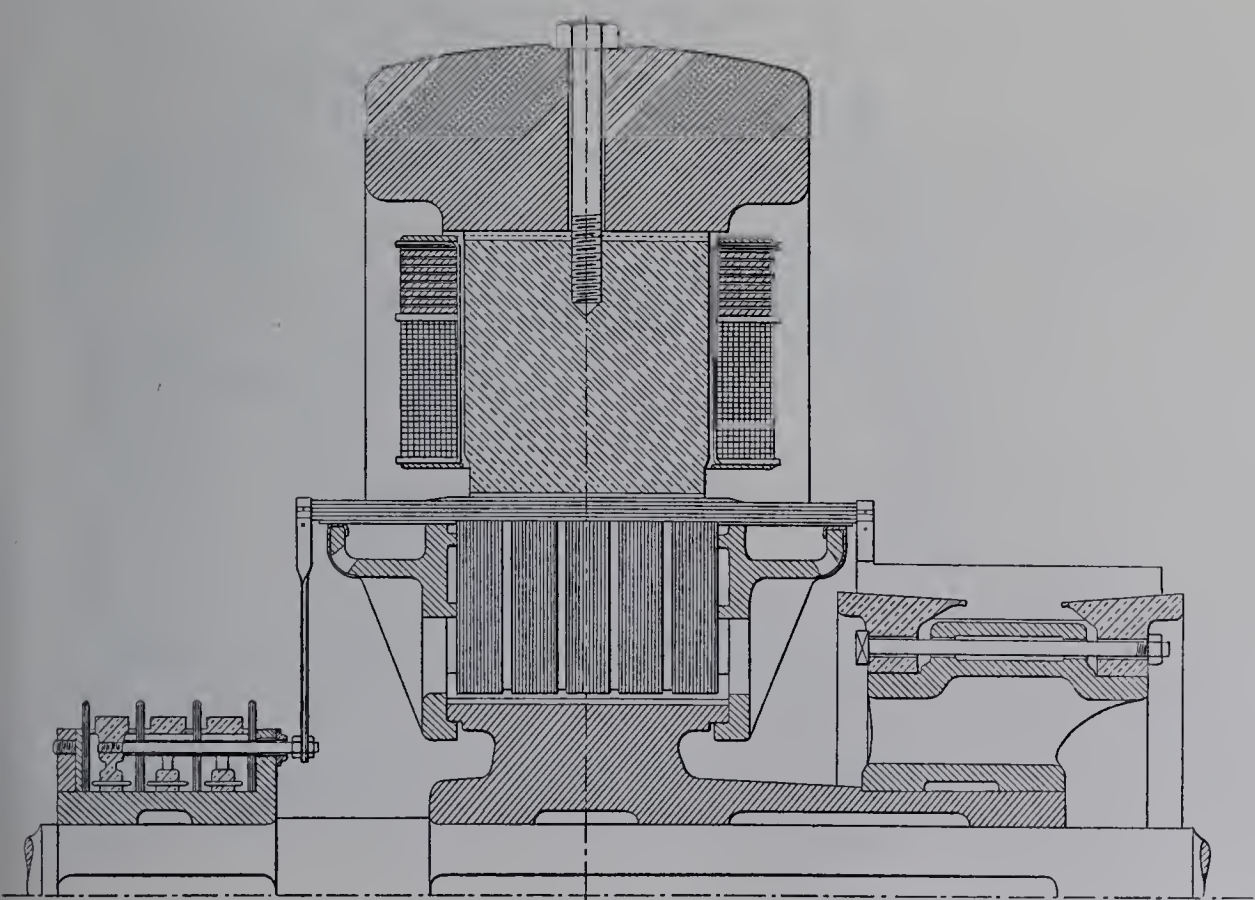


Fig. 89.— Commutatrice de 300 kilowatts de la Compagnie française Thomson-Houston.

Épanouissements polaires venus de fonte avec les pôles, avec bords parallèles à l'axe légèrement incurvés. Excitation compound. Le circuit shunt est sectionnable en trois

parties pour qu'au démarrage en moteur asynchrone à courants alternatifs, la force électromotrice induite ne soit pas assez élevée pour percer les isolants.

La carcasse de l'induit est un manchon en fonte portant deux disques qui serrent les tôles à l'aide de bossages. Enroulement logé dans 216 rainures et 432 sections réunies par des développantes aux 432 lames du collecteur. Barres de section carrée. Enroulement multipolaire en quantité. Prises de courant sur trois bagues en bronze sur lesquelles appuient des balais métalliques (fig. 89, p. 137).

Société d'applications industrielles (Alioth et Cie, de Bâle). — Courants diphasés en courant continu. 300 kilowatts. Carcasse inductrice en fonte en deux parties. Pôles

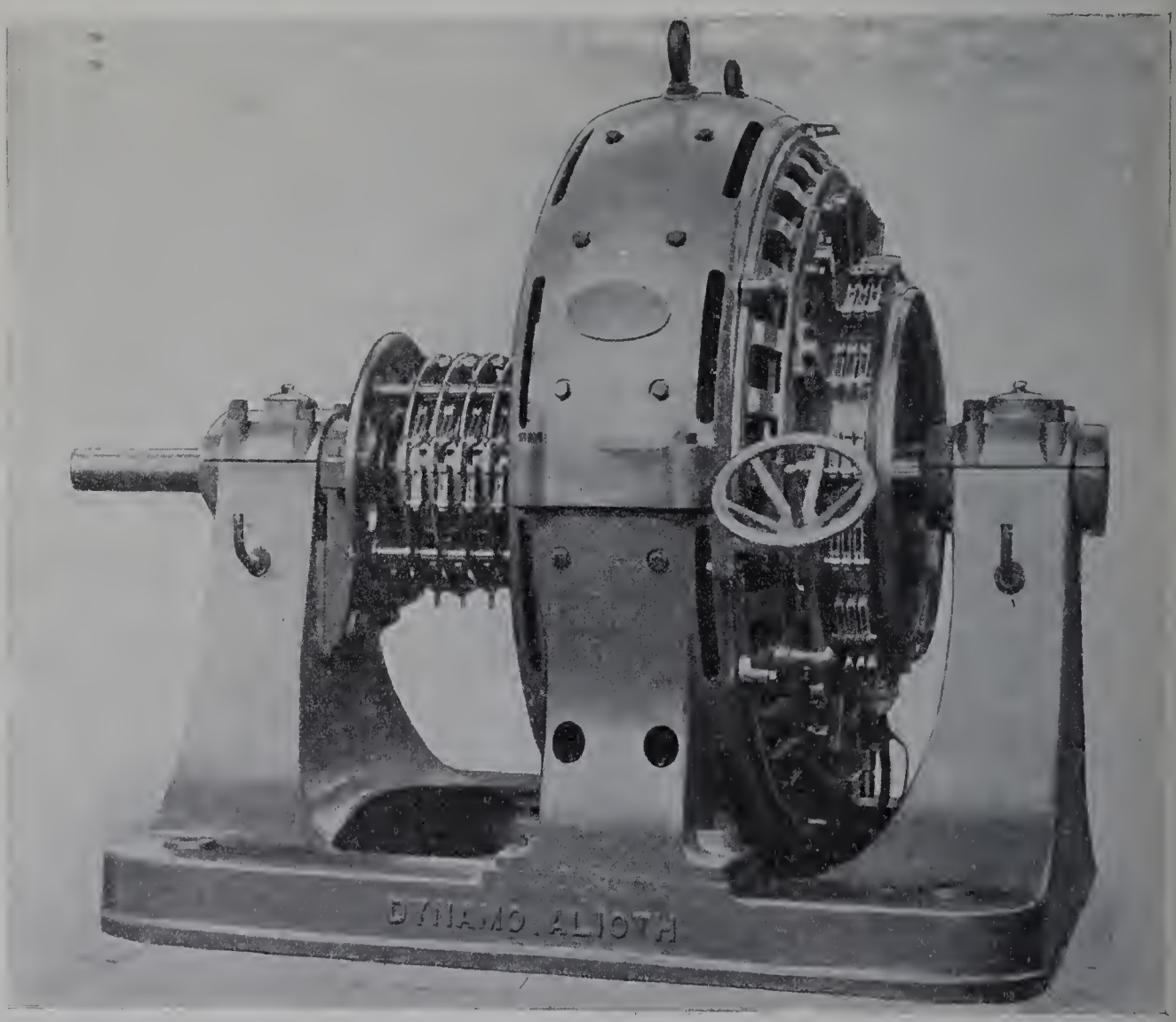


Fig. 90. — Commutatrice Alioth à courants diphasés. Vue d'ensemble.

inducteurs de section rectangulaire en acier coulé, avec épanouissements venus de fonte avec les pôles, fente radiale. Pôles boulonnés sur la carcasse. Excitation compound. Enroulement série en bande de cuivre.

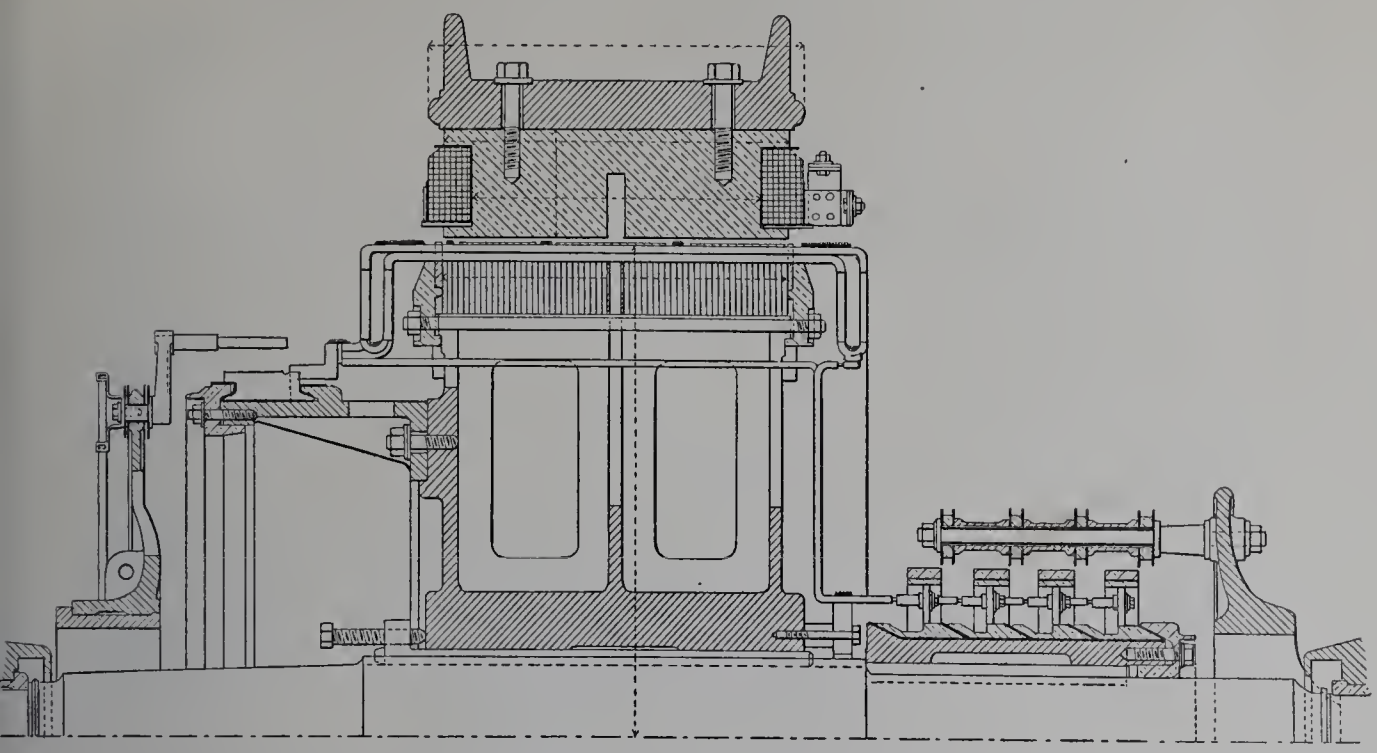


Fig. 91. — Commutatrice à courants diphasés de 300 kilowatts de la Société d'applications industrielles. Coupe longitudinale.

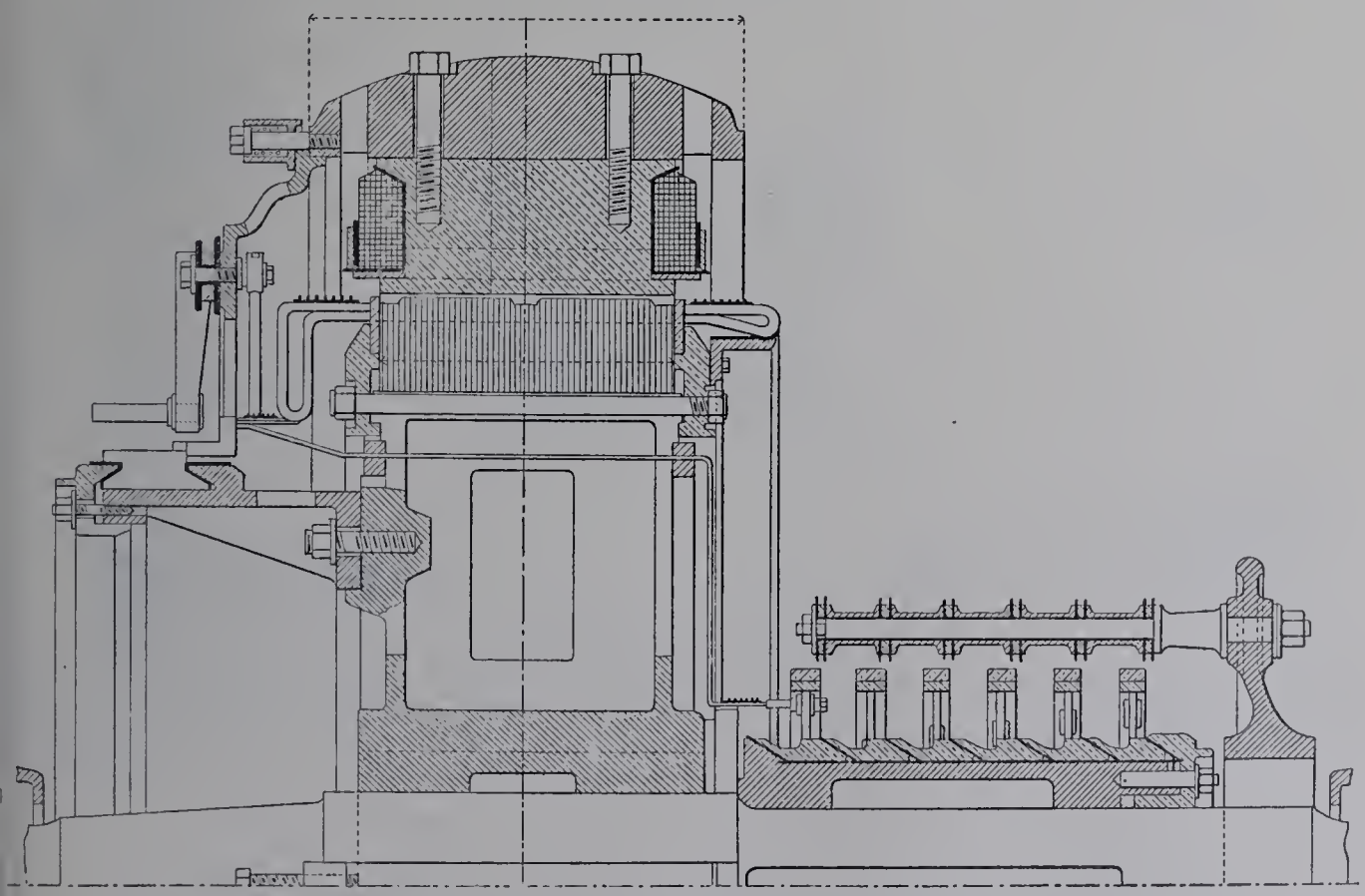


Fig. 92. — Commutatrice Alioth à courants hexaphasés, de la Société d'applications industrielles.

Carcasse de l'induit en fonte, tôles maintenues sur la carcasse par des couronnes en bronze. Enroulement tambour multipolaire en quantité réparti dans 480 rainures (fig. 90, p. 138).

Balais en charbon. Bagues des courants diphasés en bronze. Démarrage par le côté continu avec courant continu fourni par une dynamo à courant continu actionnée par un moteur asynchrone à courants diphasés (fig. 91, p. 139).

Société d'applications industrielles (Alioth et Cie, de Bâle). — Courants hexaphasés en courant continu. Carcasse inductrice en fonte en deux parties, à surface extérieure sphérique. Pôles inducteurs de section rectangulaire coulés en acier avec leurs épanouissements polaires. Excitation compound.

Carcasse d'induit analogue à celle de la machine précédente. Enroulement multipolaire en quantité, réparti dans 432 rainures. Les sections de l'induit sont partagées en 6 groupes de 8 circuits parallèles aboutissant aux 6 bagues d'amende des courants alternatifs hexaphasés fournis par un transformateur triphasé à bobinage spécial du circuit secondaire. Démarrage sur courant continu (fig. 92, p. 139).

COMMUTATRICES À INDUCTEURS FEUILLETÉS.

Société alsacienne de Constructions mécaniques (Belfort). — Courants hexaphasés en courant continu. 500 kilowatts. Carcasse inductrice en acier coulé en deux parties. Pôles

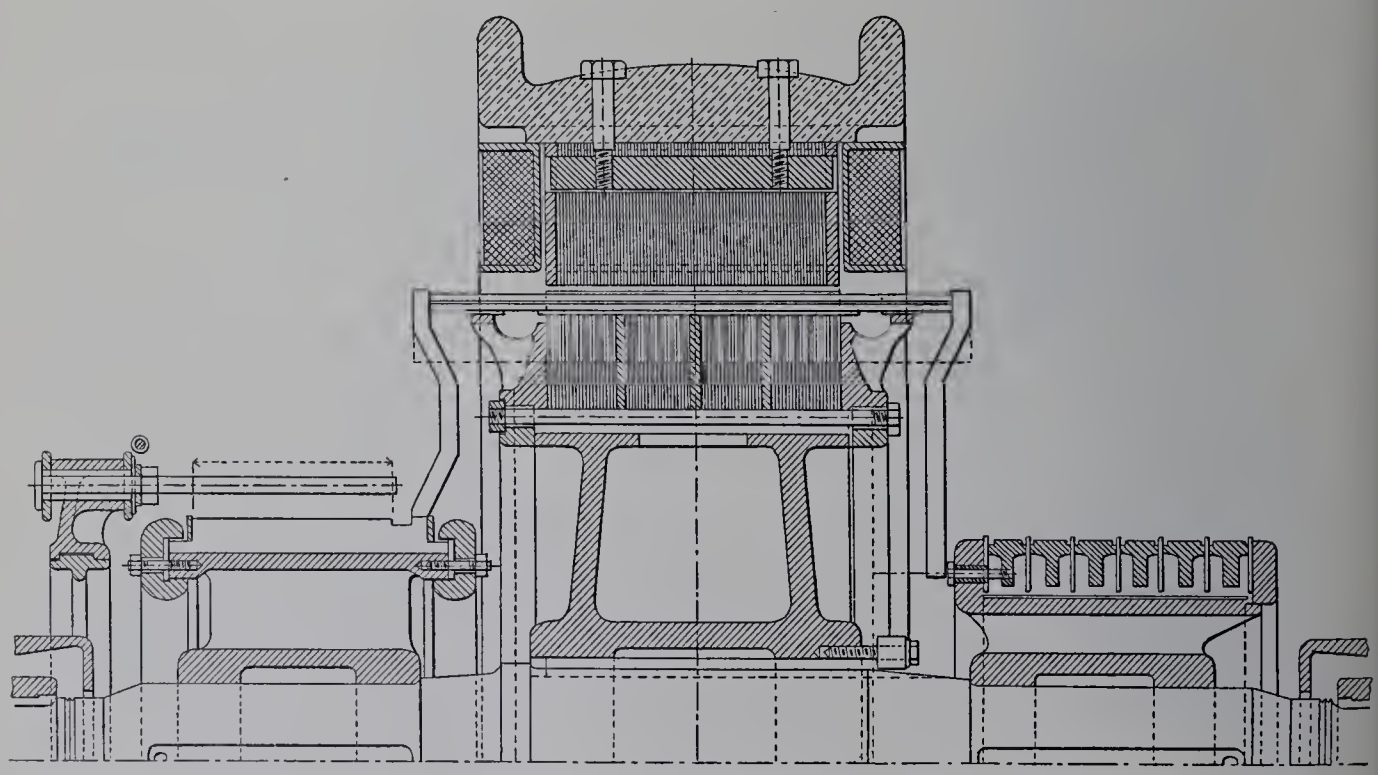


Fig. 93. — Commutatrice hexaphasée de la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

inducteurs feuilletés fixés sur la carcasse par des barres en acier traversant les tôles et formant écrous pour des boulons de fixation. Épanouissements polaires découpés dans les tôles elles-mêmes. Excitation shunt.

Carcasse induite constituée par un manchon en fonte et deux anneaux qui viennent serrer les paquets de tôles. Induit denté de 240 rainures, 480 spires et 240 sections au collecteur. Enroulement multipolaire en quantité (fig. 93, p. 140).

Siemens et Halske (Vienne). — Courants triphasés en courant continu. 500 kilowatts. Carcasse inductrice en acier coulé d'une seule pièce, reposant sur deux pattes et pouvant coulisser sur le bâti, de façon à dégager complètement l'induit (fig. 94).

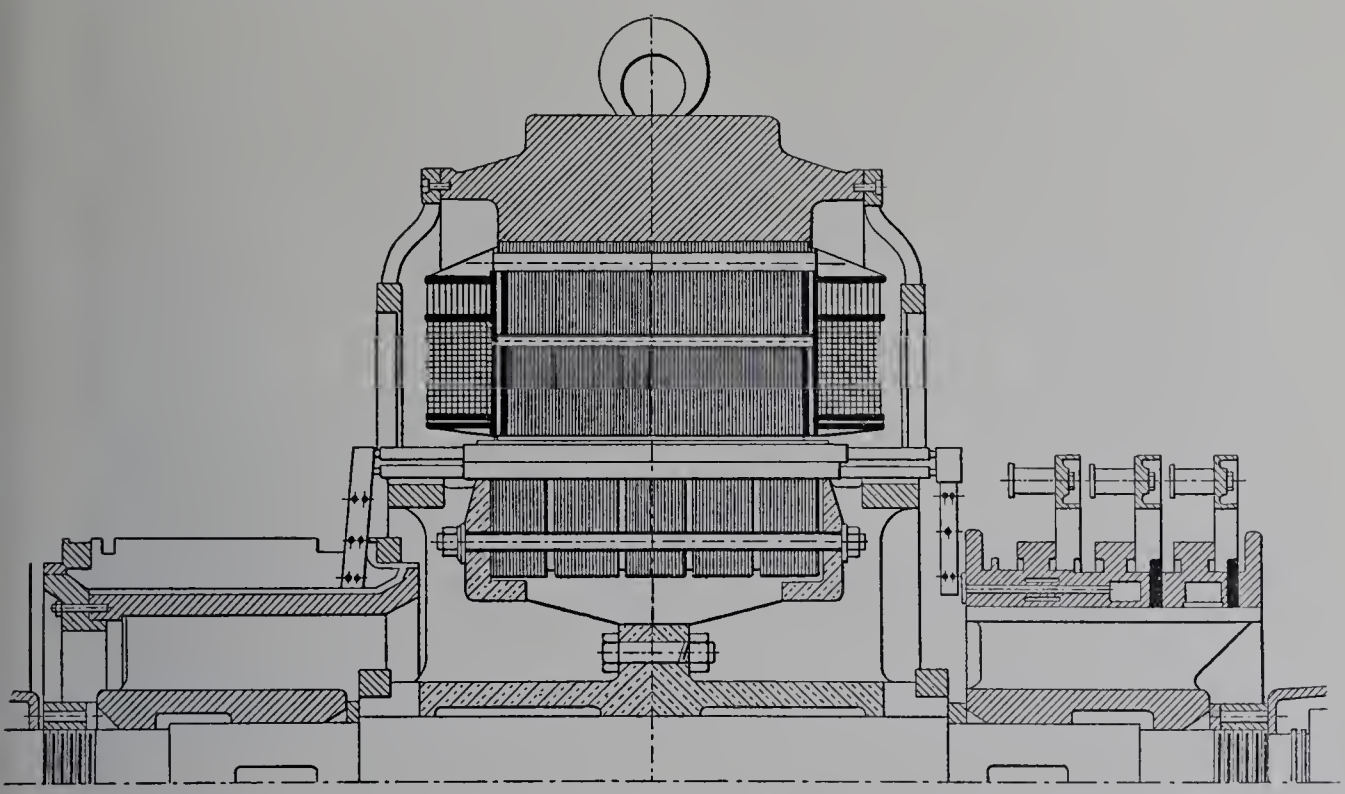


Fig. 94. — Commutatrice triphasée de 500 kilowatts, de MM. Siemens et Halske, de Vienne.

Pôles inducteurs feuilletés en forme de double T fixés par des traverses trapézoïdales. Excitation compound.

Carcasse de l'induit en acier, formée de deux croisillons fixés sur l'arbre par des frettes. Tôles induites disposées sur deux anneaux venus de fonte avec les croisillons et serrées par des boulons isolés. Enroulement ondulé avec groupement en quantité formé de barres logées dans des rainures demi-fermées. Balais métalliques.

Les bagues des courants triphasés reçoivent sept balais chacune.

Démarrage obtenu par moteur asynchrone ayant deux pôles de moins que la commutatrice. On l'amène au synchronisme et on l'y maintient par des résistances introduites dans le rotor.

Les tableaux des pages 142 à 144 résument les principales conditions de construction et de fonctionnement de quelques commutatrices exposées.

COMMUTATRICES.

ÉLÉMENTS.	Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston Paris (France).	Société d'applications industrielles. (Matériel Alioth et Cie) Paris (France).		Société alsacienne de Constructions mécaniques de Belfort (France).	Siemens und Halske Actien-Gesellschaft Wiener Werk Wien (Autriche).
DONNÉES PRINCIPALES.					
Puissance débitée, en kilowatts	300	300	200	500	500
Tension aux bornes du courant continu, en volts	500	550	550	550	550
Intensité du courant continu, en ampères	600	550	365	910	910
Nombre de phases de l'induit	3	4	6	6	3
Tension par phase de l'induit, en volts	310	275	195	195	340
Intensité des courants alternatifs par phase de l'induit, pour cos $\varphi = 1$	330	273	343	425	490
Vitesse angulaire, en tours, par minute	500	320	375	375	630
Fréquence, en périodes, par seconde	25	42,5	50	25	42
INDUCTEURS.					
Nombre de pôles inducteurs	6	16	16	8	8
Diamètre de l'inducteur à l'extrémité des pièces polaires, en centimètres	92,36	151,4	136,1	128,6	85,6
Nature du métal des pièces polaires	Acier.	Acier.	Acier.	Tôles.	Tôles.
Forme des pièces polaires	Rect. b. cintr.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.
Longueur utile des pièces polaires suivant l'axe, en centimètres	27	52,5	34	40	40
Largeur maxima des pièces polaires, en centimètres	39	20	16	34	23
Section des pièces polaires, en cm^2	1 030	1 000	544	1 360	920
Nature du métal des noyaux polaires	Acier.	Acier.	Acier.	Tôles.	Tôles.
Forme de la section des noyaux polaires	Circulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.	Rectangulaire.
Longueur de la section des noyaux polaires, en centimètres	D = 29	43,5	28	40	40
Largeur de la section des noyaux polaires, en centimètres	D = 29	12	10	18	16
Section des noyaux polaires, en cm^2	660	522	280	720	640
Nature du métal de la carcasse inductrice	Fonte.	Fonte.	Fonte.	Acier.	Fonte.
Diamètre extérieur de la carcasse inductrice, en centimètres	195	220	192	200	165
Diamètre intérieur de la carcasse inductrice, en centimètres	160	185	168	185	133
Largeur de la carcasse inductrice, en centimètres	51	57	50	58	58
Section de la carcasse inductrice, en centimètres carrés	850	480	500	520	600
Mode d'excitation	Compound.	Compound.	Compound.	Shunt.	Compound.

ÉLÉMENTS.		Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston Paris (France).	Société d'applications industrielles (Matériel Alioth et Cie) Paris (France).		Société alsacienne de constructions mécaniques de Belfort (France).	Siemens und Halske Actien-Gesellschaft Wiener Werk Wien (Autriche).
Enroulement shunt.	Nombre de bobines	6	16	16	8	8
	Nombre de spires par bobine	2 890	1 100	1 400	1 470	1 512
	Nombre de circuits en parallèle	1	1	1	1	1
	Damètre du fil, en millimètres	1,5	1,9	1,7	2,6	2,05
	Section du fil, en mm²	1,77	2,84	2,27	5,31	3,3
	Densité du courant, en ampères, par millimètre carré	0,61	//	//	//	//
	Poids du cuivre, en kilogrammes	225 (à ch.)	140 (à fr.)	160 (à fr.)	65 (à ch.)	88 (à fr.)
	Résistance du circuit, en ohms	336	580	420	850	490
Enroulement série.	Nombre de bobines	6	16	16	//	8
	Nombre de spires par bobine	8,5	1	1	//	17,5
	Nombre de circuits en parallèle	1	1	1	//	8
	Largeur du cuivre, en mm	65	//	//	//	25
	Épaisseur du cuivre, en mm	5,5	//	//	//	3
	Section du cuivre, en mm²	357,5	//	//	//	75
	Densité de courant, en ampères, par mm²	1,68	//	//	//	1,51
	Résistance du circuit, en ohms	0,00326 (à c.)	0,002 (à fr.)	0,003 (à fr.)	//	0,00072 (à f.)
	Poids du cuivre, en kilogrammes	186	//	//	//	130
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes		522	//	//	850	620
Poids du cuivre inducteur, par kilowatts		1,74	//	//	1,7	1,24
Poids de l'inducteur, en kilogrammes		7 500	//	//	7 200	//
INDUIT.						
Entrefer simple, en millimètres		4,8	7	6,5	8	8
Diamètre extérieur de l'induit, en centimètres		91,4	150	134,8	127	84
Vitesse tangentielle en mètres par seconde		23,9	25,1	26,5	24,8	27,5
Hauteur radiale des tôles induites, en centimètres		//	13	10,5	16	18
Largeur totale des anneaux induits, en centimètres		26	50	34	37	38
Nature des perforations de l'induit		Rainures.	Rainures.	Rainures.	Rainures.	Enc. dem. fer.
Nombre de perforations de l'induit		216	480	432	240	112
Hauteur radiale des perforations, en millimètres		//	//	//	30	//
Largeur des perforations, en millimètres		//	//	//	10	//
Largeur des perforations dans l'entrefer, en millimètres		//	//	//	10	//
Nature de l'enroulement induit		Tambour multi-quantité.				Tambour multi-séries-parallèle.
Nombre de sections de l'induit		432	480	432	240	336

ÉLÉMENTS.	Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston Paris (France).	Société d'applications industrielles (Matériel Alioth et Cie) Paris (France).		Société alsacienne de constructions mécaniques de Belfort (France).	Siemene und Halske Actien-Gesellschaft Wiener Werk Wien (Autriche).
Nombre de spires par section	1	2	3	2	1
Nombre de conducteurs par rainure	4	4	6	4	6
Nature des conducteurs induits	Barres.	Fil.	Fil.	Barres.	Barres.
Largeur des conducteurs induits, en millimètres	3,93	$d = 2,5$	$d = 2,5$	//	20
Épaisseur des conducteurs induits, en millimètres	3,93			//	2.3
Section des conducteurs induits, en millimètres carrés	15,5	4,9	4,9	32	46
Nombre de circuits en parallèle sous les balais	6	16	16	8	8
Résistance de l'induit entre balais	0 287 (à ch.)	0 267 (à fr.)	0 029 (à fr.)	0,01 (à ch.)	0 00355 (à fr.)
Nombre de circuits induits en parallèle par phase	3	8	5	4	4
Nombre de conducteurs par circuit	96	60	54	40	56
Résistance de l'induit par phase, en ohms	0 386 (à ch.)	0 027 (à fr.)	0,192 (à fr.)	0 0066 (à ch.)	0 00473
Poids du cuivre induit, en kilogrammes	115	85	90	300	235
Poids du cuivre induit, en kilogrammes par kilowatt	0,38	0,27	0,45	0,6	0,47
COLLECTEURS ET BAGUES.					
Nombre de lames du collecteur	432	480	432	240	336
Diamètre du collecteur, en centimètres	76,2	110	100	66	60
Largeur du collecteur, en centimètres	32	9,5	7,8	27,5	25
Nature des balais	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Charbon.	Métallique.
Nombre de lignes de balais	6	16	16	8	8
Nombre de balais par ligne	8	4	3	9	5
Nombre de bagues collectrices	3	4	6	6	3
Diamètre des bagues, en centimètres	40,6	52	50	60	60
Largeur des bagues, en centimètres	3,6	5	3	5,5	5
Poids de l'induit tout monté, en kilogrammes	2 500	//	//	4 800	//
ESSAIS.					
Courant d'excitation à vide, pour $\cos \varphi = 1$	1,55	3,7	3	//	//
Courant d'excitation en charge	1,08	//	//	7,85	//
Pertes à vide, en watts	9 810	//	//	14 500	//
Pertes par effet Joule dans l'induit	5 350	//	//	6 500 (av. b.)	//
Pertes par effet Joule dans l'inducteur shunt	540	//	//	4 000	//
Pertes par effet Joule dans l'inducteur série	1 170	7 000	4 600	//	//
Rendement	94,5	//	//	95,7	//

III. — Permutatrices.

Les *permutatrices* sont des appareils transformant les courants alternatifs polyphasés en courant continu, en laissant fixes tous les organes qui sont le siège de phénomènes d'induction, et en ne faisant tourner que les organes servant au *redressement,* à la *commutation* ou aux *permutations* des connexions nécessaires à la transformation [1].

Les permutatrices transforment les courants alternatifs polyphasés (diphasés ou triphasés) en courant continu, en utilisant un organe de transformation et un organe de commutation ou de permutation.

Supposons, pour fixer les idées et simplifier le raisonnement, qu'il s'agisse de courants alternatifs diphasés. Alimentons avec les deux courants diphasés les primaires de deux transformateurs : les deux courants étant déphasés d'un quart de période, nous pourrons les distinguer en donnant au premier circuit le nom de circuit *sinus,* et au second celui de circuit *cosinus.*

Disposons sur chacun des noyaux des transformateurs n bobines renfermant un nombre de spires variable d'une bobine à l'autre, et relions ces bobines entre elles, deux à deux, de façon à former n groupes renfermant chacun deux bobines en tension. Si le nombre de spires est convenablement choisi, on pourra obtenir que les n forces électromotrices alternatives développées dans ces n paires de bobines soient égales, mais qu'elles soient déphasées de $\frac{1}{n^e}$ de période, car chacune d'elles pourra être représentée, en grandeur et en direction, par l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont les côtés de l'angle droit seront respectivement proportionnels au nombre des spires sinus et cosinus qui constituent la paire de bobines.

Lorsque l'on veut transformer des courants triphasés en courant continu, les n groupes des bobines sont formés chacun de trois bobines à nombre de spires variable d'une bobine à l'autre, induites par les trois primaires et couplées en tension. La force électromotrice résultante est la somme vectorielle des trois forces électromotrices déphasées entre elles d'*un tiers* de période.

Les n paires de bobines sont donc assimilables aux n bobines d'un anneau Gramme. En les couplant en tension entre elles et en les reliant à un commutateur (permutateur) convenable, on recueillera du courant continu sur les balais, courant d'autant plus continu que les bobines élémentaires seront plus nombreuses. Pour obtenir ce résultat, M. Maurice Leblanc utilise deux dispositifs, l'un à balais fixes et à permutateur tournant, l'autre à permutateur fixe et à balais tournants. Le type à balais fixes figu-

[1] Les permutatrices sont le résultat des études à peu près exclusives de M. Maurice Leblanc. Ses premiers appareils reçurent le nom fantaisiste, aujourd'hui abandonné, de *panchahuteurs.* Le nom qui leur conviendrait exactement serait celui de *commutatrice,* appliqué malheureusement à des systèmes qui produisent le même résultat par des moyens différents. Le nom de *transformateur-redresseur* est mal choisi, car l'appareil fait plus qu'un simple redressement. Le nom de *permutatrice* a l'avantage de bien mettre en relief le caractère principal, essentiel, de ce système de transformateurs.

IMPRIMERIE NATIONALE.

rait seul à l'Exposition; le type à balais tournants n'a pu être prêt à temps pour y figurer.

Les permutatrices à balais fixes ont un collecteur tournant commandé par un petit moteur synchrone. Chacune des n touches du collecteur est reliée aux points d'attache des n bobines élémentaires successives par une bague tournante collectrice reliée à ce collecteur, contre laquelle s'appuie et vient frotter un balai de contact relié à l'un des points d'attache de ces bobines élémentaires.

Cette construction ne permet pas d'employer un trop grand nombre de bobines élémentaires, 12 ou 18 au plus, sous peine de donner au système tournant une longueur démesurée. Pour qu'avec les fréquences employées il ne soit pas nécessaire de donner au collecteur des dimensions et des vitesses excessives, le moteur synchrone a 4, 6 ou 8 pôles, et comporte 2, 3 ou 4 séries de touches dont les homologues sont connectées en dérivation. Des lignes de balais, en nombre égal à celui des pôles du moteur synchrone, recueillent le courant simultanément et permettent de réduire dans de grandes proportions la longueur du collecteur.

Pour pouvoir augmenter à volonté le nombre des bobines élémentaires et faciliter ainsi la commutation, les nouvelles permutatrices comportent un collecteur fixe *creux*, à l'intérieur duquel viennent frotter des balais tournants appliqués par la force centrifuge. Le courant, rendu disponible sous forme continue aux extrémités de ces balais tournants, est recueilli à l'aide de deux balais fixes appuyant sur deux bagues collectrices reliées électriquement, l'une à toutes les lignes de balais positifs, l'autre à toutes les lignes de balais négatifs. Pour des raisons de symétrie et de bon contact des balais, l'axe tournant portant l'induit du moteur synchrone, les balais et les bagues collectrices est disposé verticalement.

Le moteur synchrone porte un enroulement *compound* étudié pour réaliser un décalage automatique des balais en fonction de la charge, et fournit ainsi une commutation parfaite à toutes les charges.

Permutatrice de M. Maurice Leblanc. — Courants alternatifs diphasés en courant continu. 100 kilowatts (125 volts, 800 ampères). Elle est constituée par un moteur synchrone faisant tourner les bagues et le collecteur.

L'induit du moteur est fixe. Il est constitué par une couronne de tôles fixées sur une carcasse en fonte. La surface intérieure des tôles porte 144 encoches très peu ouvertes, dans lesquelles est logé un enroulement multipolaire en quantité constituant un enroulement polygonal à 12 phases relié au secondaire d'un transformateur à 12 phases secondaires obtenues par des combinaisons de bobines disposées sur quatre noyaux alimentés par des courants diphasés.

L'inducteur du moteur est formé d'un noyau de tôles serrées entre deux anneaux, enroulement en anneau denté, compound, réparti dans 132 encoches légèrement ouvertes. L'enroulement série et l'enroulement shunt sont alimentés par le courant continu de la permutatrice. De plus, l'inducteur porte un enroulement en cage d'écureuil formé

par des barres de cuivre de 8 millimètres de diamètre et réunies par deux anneaux en cuivre aux extrémités. Cet enroulement constitue un circuit amortisseur destiné à assurer la stabilité du synchronisme.

La *permutatrice* proprement dite comprend 12 balais reliés aux 12 bornes d'un transformateur à 12 phases, appuyant sur 12 bagues isolées entre elles, et reliées à un commutateur à 72 lames réunies entre elles 6 par 6 par des développantes et chaque groupe

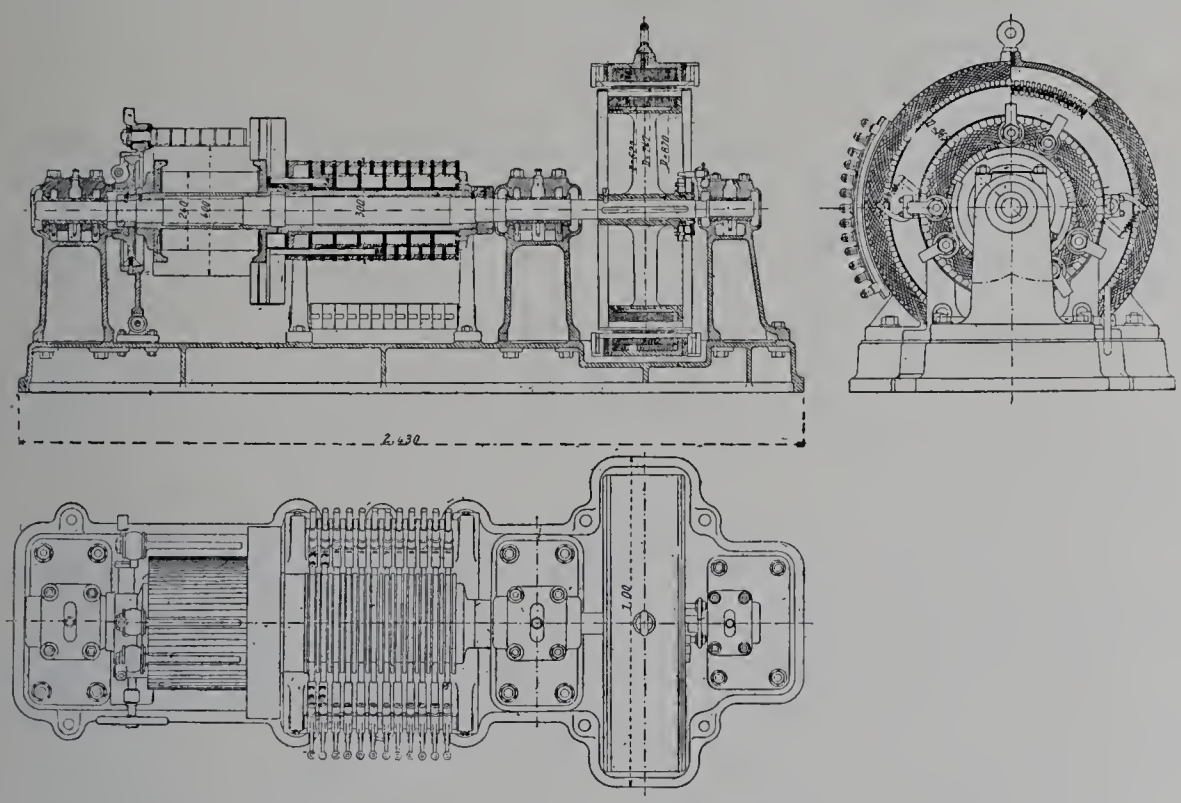


Fig. 95. — Permutatrice de 100 kilowatts de MM. Hutin et Leblanc. (Ensemble.)

de 6 à une bague. Sur le collecteur frottent six rangées de balais métalliques décalables par une vis sans fin actionnée par un petit volant à main, de façon à caler les balais reliés au circuit d'utilisation sur les lignes de commutation.

La permutatrice démarre par des courants alternatifs, mais, pour éviter les étincelles aux balais avant la synchronisation, on dispose un interrupteur multiple sur les circuits des bagues, et on ne le ferme qu'après l'accrochage du moteur synchrone.

IV. — Transformateurs divers.

Redresseurs ou rectifieurs. — Les commutatrices fonctionnent dans de bonnes conditions lorsqu'elles transforment des courants polyphasés en courant continu, car on passe d'une puissance constante à une puissance constante. Il n'en est pas de même avec les courants alternatifs simples, et les commutatrices effectuant cette transformation fonctionnent dans des conditions médiocres. Quelques inventeurs ont, pendant ces dernières

années, cherché à *redresser* le courant alternatif par une simple *commutation*, sans transformation, à l'aide d'un moteur synchrone actionnant un commutateur tournant qui change le sens des connexions du circuit au moment où le courant change de règne. Nous ne pouvons que signaler ici l'existence de ces appareils préconisés et réalisés par M. Ferranti en Angleterre, et par M. Pollak en Allemagne. Aucun système de redresseur ne figurait à l'Exposition de 1900, pas plus que les permutatrices de MM. Rougé et Faget, d'invention récente, dans lesquelles le redressement met en jeu à la fois l'induction et la commutation.

Polyphaseurs. — Les polyphaseurs sont des appareils qui, en partant d'une ou d'un petit nombre de différences de potentiel alternatives, permettent d'obtenir des courants alternatifs de même fréquence, mais de phases différentes, variables à volonté en grandeur et en phase.

C'est parmi les polyphaseurs qu'il convient de classer :

1° Les bobines de réaction ou bobines inductives (*Chocking-coil* en anglais, *Droselspule* en allemand) employées pour le démarrage des moteurs synchrones à courants alternatifs simples;

2° Les *condensateurs* employés dans le même but;

3° Les *transformateurs* absorbant des courants triphasés au primaire et restituant des courants hexaphasés au secondaire;

4° Les *transformateurs* de M. Scott, dans lesquels, par des couplages et des proportions convenables d'enroulements des circuits primaires et secondaires, on transforme les courants diphasés en triphasés, ou inversement;

5° Les *permutatrices* de M. Maurice Leblanc qui, en partant de courants diphasés ou triphasés, fournissent des courants à n phases, recueillis par les balais du collecteur sous forme de courant continu.

La plupart de ces dispositifs figuraient à l'Exposition de 1900, non pas sous une forme explicite, mais dans des dispositifs ou des appareils qui utilisaient leurs propriétés.

Transformateurs de fréquence. — L'emploi des basses fréquences, imposé par l'obligation de réduire l'impédance et la capacitance des lignes électriques, la vitesse angulaire des machines, et de faciliter le couplage en parallèle des alternateurs ainsi que la construction des commutatrices, a rendu nécessaire la création des transformateurs de fréquence, employés dans certaines stations centrales américaines, mais dont aucun type ne figurait à l'Exposition de 1900.

En principe, l'appareil est constitué par un moteur synchrone actionnant un rotor enroulé en diphasé ou triphasé, et dont le stator, alimenté par le courant à transformer, produit un champ tournant en sens inverse de celui du rotor. L'enroulement du rotor se trouve ainsi le siège d'une force électromotrice périodique dont la fréquence est définie

par la vitesse angulaire du champ tournant et celle du rotor, c'est-à-dire par leur nombre de pôles respectifs.

On relève ainsi la fréquence de façon à pouvoir utiliser le courant dans les lampes à arc et à incandescence.

Haute fréquence. — La transformation des courants alternatifs ou continus en courant de haute fréquence ou, plus exactuement, de *courte période*, n'a pas encore reçu d'applications industrielles. Les appareils qui réalisent cette transformation sont du domaine de la Classe 27 consacrée aux *Applications diverses de l'électricité*.

MOTEURS ÉLECTRIQUES.

L'Exposition de 1889 ne présentait que des moteurs à courant continu dont le plus puissant ne dépassait pas 200 kilowatts. Les moteurs à courants alternatifs n'étaient représentés que par un petit appareil d'expérience de M. le professeur *Elihu Thomson*. Une des caractéristiques les plus nettes de l'Exposition de 1900 est le développement considérable des moteurs électriques et de leurs applications, et plus particulièrement des moteurs à courants alternatifs simples ou polyphasés.

I. — MOTEURS À COURANT CONTINU.

Un moteur à courant continu n'est pas autre chose, en principe, qu'une dynamo réversible; au lieu de recevoir de la puissance mécanique et de produire de la puissance électrique, elle reçoit, au contraire, de la puissance électrique et produit de la puissance mécanique. En fait, bon nombre de machines construites comme dynamos fonctionnent comme moteurs sans aucune modification. Nous pourrions donc renvoyer simplement à ce que nous avons dit relativement aux dynamos à courant continu si, en raison de certaines applications spéciales, les moteurs ne recevaient certaines formes et certaines dispositions qui limitent étroitement leur rôle à celui de moteurs. L'Exposition renfermait un grand nombre de types spécialement étudiés dans ce but : nous devrons nous contenter d'en signaler quelques-uns pris à titre d'exemple, et renfermant des dispositions spéciales imposées par les applications.

Moteurs de faible puissance. — Les moteurs de faible puissance, de 100 watts à 2 kilowatts, sont généralement établis avec un induit en anneau, balais en charbon, bobine d'excitation (série ou dérivation) unique sur la culasse, graisseurs automatiques à bagues, pièces interchangeables. Des types très intéressants de ces petits moteurs étaient présentés par M. H. Cuénod, de Genève, MM. Lecoq et Cie, de Genève, Blondeau de Paris, etc.

Modes d'excitation. — La plupart des moteurs devant fonctionner à vitesse constante sont excités en dérivation. Pour les applications aux appareils de levage, grues, ascenseurs, etc., ainsi qu'aux tramways et automobiles, c'est l'enroulement série qui est préféré, car il donne un couple moteur intense au démarrage.

L'enroulement mixte ou compound est rarement employé. Il ne convient que dans le cas où le moteur est exposé à fonctionner à vide sans que le circuit soit rompu, et pour l'empêcher de prendre une vitesse dangereuse.

Moteurs avec réducteurs mécaniques de vitesse. — Les moteurs électriques sont caractérisés par une grande vitesse angulaire nécessaire pour obtenir à la fois un bon

rendement et une bonne utilisation de la matière. Mais les appareils d'utilisation s'accommodent souvent mal de ces grandes vitesses, aussi plusieurs constructeurs ont-ils disposé la poulie, non pas sur l'arbre même de l'induit, mais sur un arbre secondaire, les deux arbres étant reliés par un train d'engrenages ou, dans certains cas, par des poulies de friction. Les réductions ainsi obtenues varient entre $\frac{1}{5}$ et $\frac{1}{12}$, l'ensemble constitue un moteur à faible vitesse angulaire. Ces dispositifs s'appliquent également bien aux moteurs à courant continu et à courants alternatifs.

Moteurs blindés ou enfermés. — Certaines applications, l'exploitation de mines, par exemple, exigent que les étincelles dues à la commutation ne puissent mettre éventuellement le feu au milieu ambiant, gaz, poussières, etc. Le moteur est alors complètement blindé, enfermé, et quelquefois même muni d'une ventilation spéciale qui favorise son refroidissement. L'Exposition présentait un certain nombre de dispositifs adoptés d'ailleurs par le plus grand nombre de constructeurs.

Moteurs sous pression. — Lorsqu'on fait de la traction électrique par accumulateurs dans des mines grisouteuses, il faut éviter que les étincelles développées aux balais du moteur ne puissent provoquer l'inflammation du mélange explosif. Dans ce but, la Société alsacienne de Constructions mécaniques place le moteur dans un espace hermétiquement clos dans lequel on peut introduire de l'air comprimé pris naturellement au dehors sur une canalisation spéciale. On établit alors dans l'intérieur du moteur une pression supérieure à la pression atmosphérique, et l'on empêche ainsi une entrée éventuelle d'air chargé de grisou. Une locomotive munie de ce dispositif figurait dans la Classe 63, aux Mines de Vicoigne et Noeux.

Moteurs posés, appliqués ou suspendus. — Suivant les exigences des applications, un moteur doit être *posé* sur un socle, *appliqué* à un mur ou à une console ou *suspendu* à un plafond ou à une charpente. Pour ne pas établir de types distincts pour ces différents modes de fixation, un certain nombre de constructeurs ont modifié la forme générale du bâti en vue de satisfaire à ces exigences. Les paliers de l'arbre ne sont pas venus de fonte avec le bâti, mais ils sont solidaires de deux platines circulaires qui s'appliquent de chaque côté de ce bâti, et sont maintenues par 4 ou 8 boulons équidistants répartis sur une même circonférence. Le bâti peut prendre ainsi l'une des trois positions indiquées, tandis que les paliers conservent la position exigée par le graissage à bagues universellement adopté aujourd'hui. Par un simple changement de boulonnage, on modifie à volonté le dispositif de fixation et, par suite, les positions relatives du bâti et des paliers.

Démarrage. — Le démarrage des moteurs à courant continu alimentés à potentiel constant dépend de leur mode d'excitation.

Pour les moteurs *shunt,* on doit intercaler dans le circuit de l'induit une résistance

que l'on réduit graduellement jusqu'à zéro, afin d'éviter un courant excessif au démarrage. Ce rhéostat, appelé *rhéostat de démarrage,* comporte des dispositifs variés en vue d'éviter toute fausse manœuvre ou tout accident. Suivant son état de perfection plus ou moins avancé, il comporte les dispositifs suivants :

1° Manœuvre lente et graduée du rhéostat, soit à l'aide d'une vis sans fin, soit à l'aide d'amortisseurs à air;

2° Impossibilité d'arrêt du levier du rhéostat, soit à cheval sur deux touches, soit à mi-chemin. Ce résultat est obtenu à l'aide d'un ressort de rappel et d'un cran d'arrêt à fin de course;

3° Rupture automatique du circuit en cas d'interruption accidentelle du courant, et retour automatique du rhéostat à sa position extrême. On dispose, à cet effet, un électro-aimant traversé par le courant général et qui maintient le rhéostat sur la position de court-circuit tant que le courant passe. A la rupture, l'électro cesse d'être actif et le levier du rhéostat, sollicité par un ressort toujours bandé, ou par son propre poids, ramène le rhéostat à sa position extrême;

4° Rupture automatique en cas de surcharge excessive et retour automatique du rhéostat à sa position initiale de démarrage. A cet effet, un électro-aimant intercalé dans le circuit agit comme disjoncteur lorsque le courant atteint la valeur pour laquelle son fonctionnement a été réglé une fois pour toutes.

L'Exposition de 1900 présentait un grand nombre de ces dispositifs dont nous ne pourrions donner ici de description détaillée.

Réglage. — Le réglage des moteurs alimentés à potentiel constant dépend du mode d'excitation employé.

Pour les moteurs excités en *dérivation,* la vitesse angulaire se règle en agissant sur l'excitation, en intercalant un rhéostat variable dans le circuit d'excitation, dispositif commun à tous les constructeurs.

Pour les moteurs *série,* on intercale une résistance dans le circuit général ou, s'il s'agit d'accélérer momentanément la vitesse, on shunte partiellement les inducteurs.

Pour les moteurs *compound,* on agit sur l'enroulement shunt, comme pour l'excitation shunt, si l'enroulement série *ajoute* son action à celle du shunt. Dans certains cas où il est important de maintenir automatiquement la vitesse constante à toutes charges, l'enroulement série *retranche* son action de celle de l'enroulement shunt, ce qui donne une vitesse angulaire constante pour toutes les charges si les enroulements sont bien proportionnés.

Moteurs à double enroulement induit. — Lorsque le moteur est constitué par un induit à deux enroulements distincts reliés chacun à un collecteur, on règle la vitesse en couplant les deux induits en tension pour le démarrage et les faibles vitesses, et en quantité pour les grandes vitesses. Ce couplage des induits combiné avec l'introduction de résistances variables dans le circuit donne une échelle de vitesse très étendue, que l'on peut étendre encore par le shuntage éventuel des inducteurs.

MM. Bouquet, Garcin et Schivre utilisent dans leurs moteurs d'automobiles deux enroulements distincts dont les nombres de spires sont respectivement proportionnels aux nombres 3 et 5. On obtient ainsi les quatre vitesses angulaires relatives suivantes :

Pour les deux induits 5 et 3 couplés en tension	$\frac{1}{8}$	Pour l'induit 3 seul	$\frac{1}{3}$
Pour l'induit 5 seul	$\frac{1}{5}$	Pour les deux induits couplés en opposition	$\frac{1}{2}$

Ces couplages combinés avec des variations d'excitation permettent de faire varier la vitesse d'une façon presque continue dans le rapport de 1 à 4.

La Société alsacienne de Constructions mécaniques exposait un moteur actionnant une machine à imprimer sur étoffes en huit couleurs, et permettant d'obtenir quatre vitesses différentes : 250, 400, 600 et 950 tours par minute, sans l'intervention d'un rhéostat. A cet effet, le moteur est muni de deux collecteurs correspondant à deux enroulements induits qui diffèrent par le nombre de spires dont ils se composent; ils peuvent travailler *chacun seul, les deux dans le même sens* ou *les deux en opposition.* A chacun de ces couplages correspond une des vitesses indiquées : on obtient les vitesses intermédiaires en intercalant un rhéostat de champ dans le circuit inducteur. Toutes les vitesses angulaires comprises entre 250 et 1100 tours par minute peuvent donc être réalisées pratiquement sans perte importante de puissance.

Rhéostats. — Les rhéostats de démarrage présentent quelques dispositions nouvelles intéressantes à signaler.

Bien que les classiques rhéostats en fils roulés en forme de ressorts à boudin soient encore en grande faveur, quelques constructeurs les abandonnent à cause des contacts qui peuvent s'établir entre les boudins, contacts qui amènent des perturbations dans le fonctionnement.

Certains constructeurs renferment les fils dans des boîtes remplies de sable fin et de verre pilé qui soutiennent les résistances, permettent leur libre dilatation, empêchent les contacts accidentels, facilitent la transmission de la chaleur dont ils absorbent une partie. Le rhéostat ainsi soutenu peut atteindre sans inconvénient des températures élevées.

M. Ward Léonard (États-Unis) noie les fils ou les lames du rhéostat dans un émail.

M. Carl Flohr (Berlin) utilise des rhéostats à poudre de charbon.

Signalons enfin les rhéostats à liquide employés surtout pour le démarrage des moteurs à courants polyphasés, et qui présentent l'avantage de produire des variations de résistance graduellement croissantes, sans à-coups.

Moteurs pour électromobiles. — Les moteurs d'automobiles sont de construction récente, car aucune voiture électrique ne figurait à l'Exposition de 1889, et les pre-

miers n'ont été construits que vers 1895. Ces moteurs doivent remplir un grand nombre de conditions très sévères : grande puissance spécifique, rendement élevé à toutes charges, possibilité de supporter des courants excessifs, des à-coups, des chocs, des trépidations, résister aux intempéries des saisons (pluie, neige, poussière), aux arrosages intempestifs, etc.

La Société des Établissements Postel-Vinay s'est fait, en France, une spécialité de ces moteurs dont elle exposait un grand nombre de types étudiés et construits pour différents systèmes de voitures. Ces moteurs sont constitués, en principe, par une carcasse en acier coulé et comportent, en général, quatre pôles, afin de réduire leur vitesse angulaire. Cette carcasse est hermétiquement fermée et constitue par l'induit un *carter* protecteur. Ces moteurs sont excités en série, et fonctionnent sur 80 volts (fig. 96).

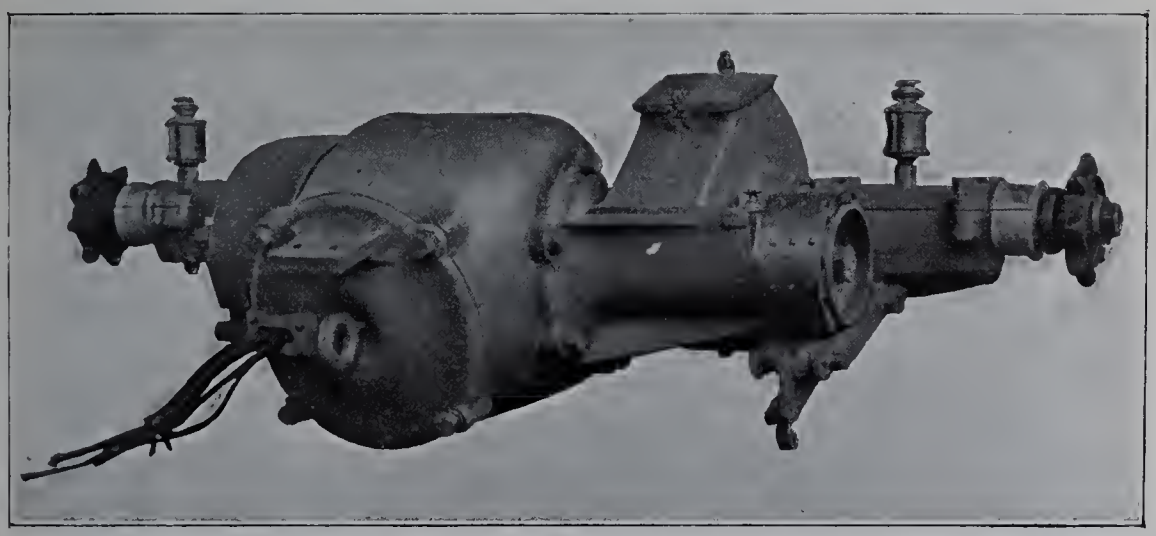


Fig. 96. — Moteur d'électromobile des Établissements Postel-Vinay.

Lorsque l'on emploie un seul moteur, on règle la vitesse du véhicule par l'introduction d'une résistance en circuit, et le couplage des accumulateurs qui forment deux groupes de 40 volts chacun. Le couplage des accumulateurs en quantité correspond au démarrage et à la petite vitesse; le couplage en tension à la grande vitesse, vitesse que l'on peut éventuellement et momentanément augmenter par un léger shuntage des inducteurs.

Lorsqu'on emploie deux moteurs, ou un moteur à double induit, le réglage de la vitesse se fait par un couplage *séries-parallèles* analogue à celui des tramways, en laissant toujours les accumulateurs en tension.

Les moteurs d'électromobiles ont une puissance qui varie entre 2 et 4 kilowatts, et une puissance spécifique comprise entre 25 et 30 watts par kilogramme, à des vitesses angulaires comprises entre 1 200 et 1 800 tours par minute. Le rendement varie, à pleine charge, entre 75 et 84 p. 100, ce qui est remarquable, eu égard à la faible puissance de ces moteurs, et aux conditions dans lesquelles on les fait fonctionner.

Moteurs de tramways. — En 1889, il n'existait pratiquement pas de tramways électriques. Ceux-ci se sont rapidement développés et uniformisés depuis cette époque, et ils ne diffèrent plus aujourd'hui entre eux que par leur puissance, leurs proportions et des détails de construction.

Les caractéristiques générales de ces moteurs sont les suivantes :

Emploi de *deux* moteurs sur chaque voiture, ce qui permet le couplage *séries-parallèle* et donne au véhicule la faculté de terminer sa course et de revenir au dépôt à l'aide d'un seul moteur, en cas d'accident survenu à l'autre moteur.

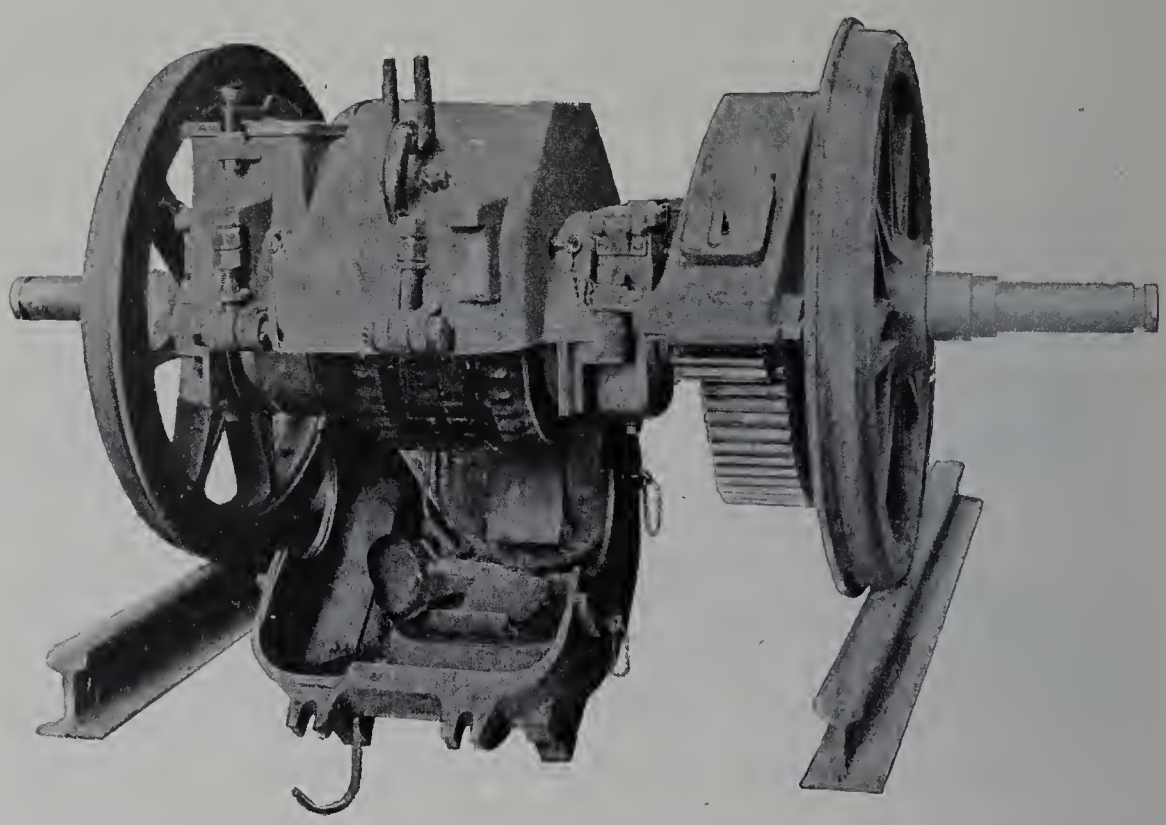


Fig. 97. — Moteur pour voiture automotrice électrique, 20 chevaux.

Moteur à *quatre* pôles attaquant l'axe des roues motrices par un seul train d'engrenages. Inducteurs en acier coulé, en deux pièces, formant carter hermétique, pour protéger l'induit et le commutateur. Inducteurs à deux pôles bobinés et deux pôles non bobinés, en vue de diminuer l'encombrement dans le sens vertical. Inducteurs série permettant d'obtenir un grand couple de démarrage et une position fixe des balais pour toutes les charges. Lorsque la denture de l'enduit ne renferme qu'un petit nombre d'encoches, les inducteurs portent des épanouissements polaires en tôle feuilletée, afin de réduire l'influence des courants de Foucault dans les pièces polaires, courants développés par le passage des dents. Induit denté, généralement bobiné en tambour, balais en charbon.

L'ensemble de ces dispositions se voit nettement sur la figure 97 qui représente un moteur de 15 kilowatts des Ateliers d'Oerlikon monté sur les roues qu'il actionne.

Combinateur. — Le combinateur est l'organe placé sous la main du conducteur de la voiture (*wattman*) et destiné à réaliser, entre les deux moteurs, les résistances de manœuvre et la différence de potentiel sensiblement constante (550 volts) établie entre les rails et la prise de courant de la voiture, les connexions nécessaires au démarrage, aux variations de vitesse, à l'arrêt et à la marche arrière. Le combinateur est constitué

Fig. 98. — Combinateur de la Compagnie française Thomson-Houston.

par un arbre vertical commandé par une manivelle, et sur lequel sont disposés des secteurs isolés convenablement découpés, sur lesquels appuient des balais métalliques reliés aux différents circuits. Cet arbre peut prendre, dans sa rotation, un certain nombre de positions définies par une roue à encoches dans lesquelles vient s'engager un ressort terminé par un galet qui se loge dans l'encoche. Chacune de ces positions

établit les connexions voulues entre les différents organes par l'intermédiaire des balais et des secteurs. Le passage d'une position à l'autre produit, chaque fois qu'un circuit est rompu, une ou plusieurs étincelles aux points de rupture, étincelles dont on diminue l'effet nuisible à l'aide d'un *soufflage magnétique* réalisé par un électro-aimant placé au-dessus des points de rupture. Ce souffleur magnétique se voit à la partie supérieure de la figure 98, qui représente, à titre d'exemple, un combinateur Schneider et Cie ouvert. La manivelle de manœuvre se voit à la partie supérieure. La boîte du combinateur renferme également un commutateur spécial qui a pour objet de supprimer du circuit l'un ou l'autre des deux moteurs en cas d'avarie.

Les voitures de tramways comportent généralement deux combinateurs placés chacun à l'une des extrémités de la voiture et *une seule* manivelle de manœuvre qui se place toujours *à l'avant,* ce qui évite de retourner la voiture en fin de parcours. Cette manivelle est bloquée pendant la marche et ne peut être enlevée que dans la position d'arrêt, ou *zéro,* dans laquelle le combinateur laisse tous les circuits ouverts, et se trouve ainsi virtuellement supprimé.

II. — MOTEURS À COURANTS ALTERNATIFS.

Les moteurs à courants alternatifs n'existaient pas à l'Exposition de 1889, si l'on excepte le petit appareil exposé par M. le professeur Elihu Thomson. Ils ont pris depuis 1889, et surtout depuis le développement des courants polyphasés, une énorme importance, mise tout spécialement en relief par l'Exposition de 1900.

Suivant la nature des courants qui les alimentent, leurs relations avec la fréquence de ce courant et les connexions du circuit induit et inducteur, on peut les diviser en moteurs à courants alternatifs simples, diphasés ou triphasés, moteurs synchrones ou asynchrones, moteurs par conduction ou par induction.

On est convenu de donner le nom de *stator* à la partie fixe du moteur et celui de *rotor* à la partie tournante, la fixité et la mobilité relatives du système inducteur et du système induit constituent une nouvelle base de classification. Pratiquement, tous les moteurs à courants alternatifs usuels rentrent dans l'une des trois classes suivantes :

Moteurs synchrones, ou à champ constant.

Moteurs asynchrones, ou à champ alternatif.

Moteurs asynchrones, ou à champ tournant.

MOTEURS SYNCHRONES OU À CHAMP CONSTANT.

Les moteurs synchrones sont, en principe, des alternateurs dans lesquels les courants alternatifs, simples ou polyphasés, traversent le circuit induit et se déplacent dans des champs magnétiques fixes produits, soit par une excitation séparée, soit par un redressement partiel des courants alternatifs eux-mêmes. Tout alternateur peut donc, en principe, fonctionner en moteur synchrone, mais en pratique, les moteurs synchrones dif-

fèrent essentiellement des alternateurs par leurs dispositions mécaniques et leur construction. Par la nature de leurs applications, ils reçoivent, en général, des courants de basse tension. Afin de réduire les dangers de surveillance et d'entretien, et pour en diminuer le poids, le prix et l'encombrement, les inducteurs constituent le *stator* du système dont l'induit forme le *rotor*.

Les moteurs synchrones sont de construction simple; leur rendement est élevé, leur vitesse angulaire constante, leur facteur de puissance peut être rendu égal à l'unité pour toutes les charges, et l'excitation réglée pour fournir sur le circuit du courant en quadrature en avance sur la différence de potentiel et améliorer le cos φ du réseau.

A côté de ces avantages, ils présentent des inconvénients résultant de leur démarrage difficile, de leur décrochage inévitable en cas de surcharge brusque, de la complication amenée par l'excitation, des oscillations perturbatrices qu'ils créent dans le réseau par leur pompage (*hunting*) lorsque la fréquence des alternateurs varie, et des harmoniques introduits par les formes différentes des forces électromotrices des alternateurs et du moteur, harmoniques qui compromettent la stabilité de marche. Aussi les moteurs synchrones sont-ils peu employés, et l'Exposition n'en renfermait qu'un seul type, exposé par la Société des Établissements Postel-Vinay, et destiné à l'éclairage des sous-stations.

Démarrage des moteurs synchrones. — Les moteurs synchrones ne fonctionnent qu'après avoir été amenés au synchronisme. On peut les amener au synchronisme par les moyens indiqués à propos du démarrage des commutatrices.

Les moteurs synchrones peuvent cependant démarrer à vide en coupant l'excitation et en envoyant des courants polyphasés dans l'induit. Ces courants polyphasés produisent un champ tournant et développent dans les pièces polaires de cet induit des courants de Foucault qui le transforment momentanément en moteur asynchrone. Le démarrage est facilité en munissant, comme le fait la General Electric C°, les pièces polaires de l'inducteur, d'enroulements en cuivre fermés sur eux-mêmes, qui facilitent ce démarrage.

Lorsque les moteurs synchrones fonctionnent comme moteurs-générateurs, et que le circuit à courant continu comprend des accumulateurs, on utilise ces accumulateurs pour amener le moteur synchrone au synchronisme.

Dans d'autres cas, le moteur synchrone est amené au synchronisme par un petit moteur asynchrome ayant un nombre de pôles *plus petit* que celui du moteur synchrone. Le moteur asynchrone permet de lancer le moteur synchrone à une vitesse angulaire supérieure à celle correspondant au synchronisme. Lorsque ce résultat est atteint, on excite le moteur synchrone et on coupe le courant du moteur asynchrone. Le système tournant prend alors, sous l'action des frottements, une légère accélération négative : l'accrochage au réseau se fait au moment où l'indicateur de phase indique à la fois le synchronisme et la coïncidence de phases.

Moteur synchrone à courants alternatifs simples. — La société « l'Éclairage électrique » exposait un moteur synchrone auto-excitateur et auto-démarreur à vide, étudié par M. Labour. Le démarrage s'obtient en transformant momentanément le

moteur en moteur à courants diphasés. Le circuit principal traverse l'enroulement induit en passant par un rhéostat, le circuit secondaire est alimenté par un transformateur-réducteur. Le moteur démarre en moteur asynchrone. Lorsque le quasi-synchronisme est atteint, une manœuvre du commutateur de démarrage coupe le circuit de l'enroulement secondaire, met le rhéostat de l'enroulement principal en court circuit et excite les inducteurs. Le moteur est alors accroché, et on règle son excitation pour obtenir le courant minimum à charge normale. Le démarrage se fait à vide : la courroie doit être sur la poulie folle et amenée ensuite graduellement sur la poulie motrice, afin d'éviter le décrochage.

MOTEURS ASYNCHRONES.

Les moteurs asynchrones, de beaucoup les plus employés aujourd'hui, ont pour caractéristique principale la possibilité de fonctionner avec une vitesse différente de celle qui correspond au synchronisme, avec un certain *glissement*, fonction de la charge.

Lorsque le courant qui traverse l'induit pendant la marche est fourni par le courant lui-même, le moteur est dit *de conduction*. Si le circuit induit est complètement distinct du circuit d'alimentation, les courants qui le traversent y sont développés *par induction* et le moteur est dit *moteur d'induction*.

Les moteurs de conduction sont peu employés et n'étaient représentés, à l'Exposition, que par des appareils de 2 000 et 3 000 watts, destinés à la manœuvre des ascenseurs, exposés par la maison Schneider et Cie.

Ce sont des moteurs série à induit et inducteurs feuilletés, avec bobinage en tambour et excitation série, fonctionnant sous 110 volts à la fréquence de 50 périodes par seconde. Ces moteurs ont un couple élevé pour une faible vitesse angulaire et une puissance sensiblement constante à toutes les charges, conditions favorables à la manœuvre des ascenseurs. Le rendement du type de 1 500 watts est voisin de 0,7, ce qui est très satisfaisant pour un moteur de cette puissance.

MOTEURS D'INDUCTION.

Les moteurs d'induction se divisent en deux groupes, suivant qu'ils sont ou non munis d'un collecteur.

Moteur à répulsion. — Les moteurs à collecteur ne sont plus employés aujourd'hui, mais nous devons signaler ici, à titre historique, que le seul moteur à courants alternatifs asynchrones figurant à l'Exposition universelle de 1889 était un moteur d'induction à collecteur dit *moteur à répulsion*, exposé par M. le professeur Elihu Thomson, dans la section des États-Unis comme première application pratique des répulsions électro-dynamiques qu'il montrait avec tant de succès [1].

L'Exposition de 1900 n'offrait qu'un seul exemple de moteur de ce genre, et encore

[1] Les moteurs à répulsion ont été récemment repris pour la traction à courants alternatifs simples. (N. D. R.)

ne fonctionnait-il en utilisant cette action de répulsion que dans la période de démarrage : c'est le moteur de M. Max Déri, signalé un peu plus loin.

Moteurs d'induction ou à induit fermé sur lui-même. — Ces moteurs, les seuls employés à peu près exclusivement aujourd'hui sur les réseaux de distribution à courants alternatifs simples ou polyphasés, résultent des travaux de *Ferraris* et de *Tesla* sur les champs tournants. Ils sont caractérisés, dans leur construction générale, par un système inducteur généralement fixe (*stator*) recevant le courant du réseau et développant un champ, ou une série de champs, alternatifs ou tournants, et un système induit, généralement mobile (*rotor*), dont l'enroulement est fermé sur lui-même et complètement indépendant de l'enroulement du stator. Le mouvement de rotation est dû aux actions du champ produit par l'inducteur sur les courants induits dans le rotor. C'est de là que vient le nom de *moteur d'induction.* Le rotor comporte, suivant les cas, un induit en *cage d'écureuil* ou un induit *bobiné,* ce dernier avec dispositif permettant d'introduire des résistances variables dans l'induit, en vue de faciliter le démarrage, et d'obtenir le couple maximum à toutes les vitesses pendant le démarrage.

Pour les moteurs de petite puissance, les paliers sont rapportés et font corps avec une couronne qui permet, suivant le cas, de *poser* le moteur à terre, de l'*appliquer* contre un mur ou une colonne, ou de le *suspendre* à une poutre, tandis que les paliers graisseurs, toujours à bagues, conservent leur position verticale.

Conditions générales de construction. — La construction des moteurs asynchrones dont la puissance varie entre 200 watts et 75 kilowatts (100 chevaux) s'est uniformisée comme type général, en ce sens que tous les moteurs sont aujourd'hui constitués par un inducteur fixe (*stator*) et un induit mobile (*rotor*).

Stator. — Le stator est constitué par une série de disques de tôle de 0,3 à 0,5 millimètres d'épaisseur, isolés au papier, superposés et maintenus dans une carcasse en fonte qui sert de bâti et supporte les paliers graisseurs. Pour les moteurs de grande puissance, des canaux de ventilation sont ménagés entre les disques, qui forment plusieurs paquets distincts.

La couronne annulaire formée par l'empilement des disques reçoit son bobinage dans des encoches ou dans des trous. Les encoches permettent la fabrication préalable des bobines sur formes, mais les trous donnent une répartition du magnétisme plus régulière et conduisent à un courant magnétisant plus petit, à la condition d'être percés très près du bord. Certains constructeurs refendent les trous, afin d'éviter les dérivations magnétiques. Ces trous sont garnis de tubes en micanite pour les hautes tensions, de tubes en fibre ou en prespahn, et même de simple placage en bois pour les hautes tensions.

Le bobinage est constitué, suivant la tension, par des fils isolés formant bobine rectangulaire ou des barres. Les moteurs à courants alternatifs simples ou diphasés comportent autant de bobines que de pôles ; les moteurs triphasés ont, pour chaque phase, un nombre de bobines élémentaires égal à la moitié du nombre de pôles.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Dans l'enroulement à barres, on dispose ces barres dans des trous relativement nombreux, de façon à réduire l'importance de la denture et à uniformiser le champ : l'enroulement est connu sous le nom d'enroulement *progressif* ou *réparti*. Le nombre de trous par pôle et par phase varie entre 4 et 9. Les trois phases du stator sont montées en triangle ou en étoile. Le montage en triangle s'emploie surtout pour les moteurs puissants à basse tension.

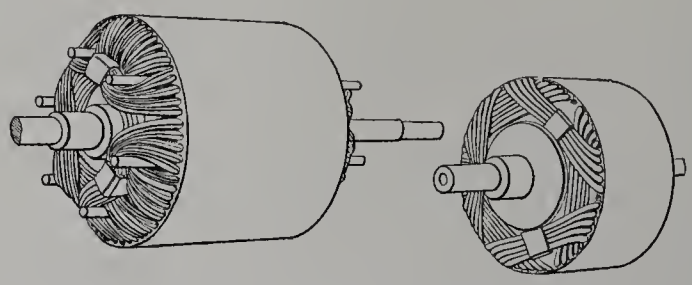


Fig. 99. — Rotor en fils nus des Ateliers d'Oerlikon.

Pour faciliter le montage du rotor, au lieu d'employer trois formes de gabarits distinctes pour les trois circuits triphasés, ce qui obligeait à recourber l'un d'eux vers la partie centrale et obstruait ainsi le passage de cet induit, la maison Brown Boveri et Cie

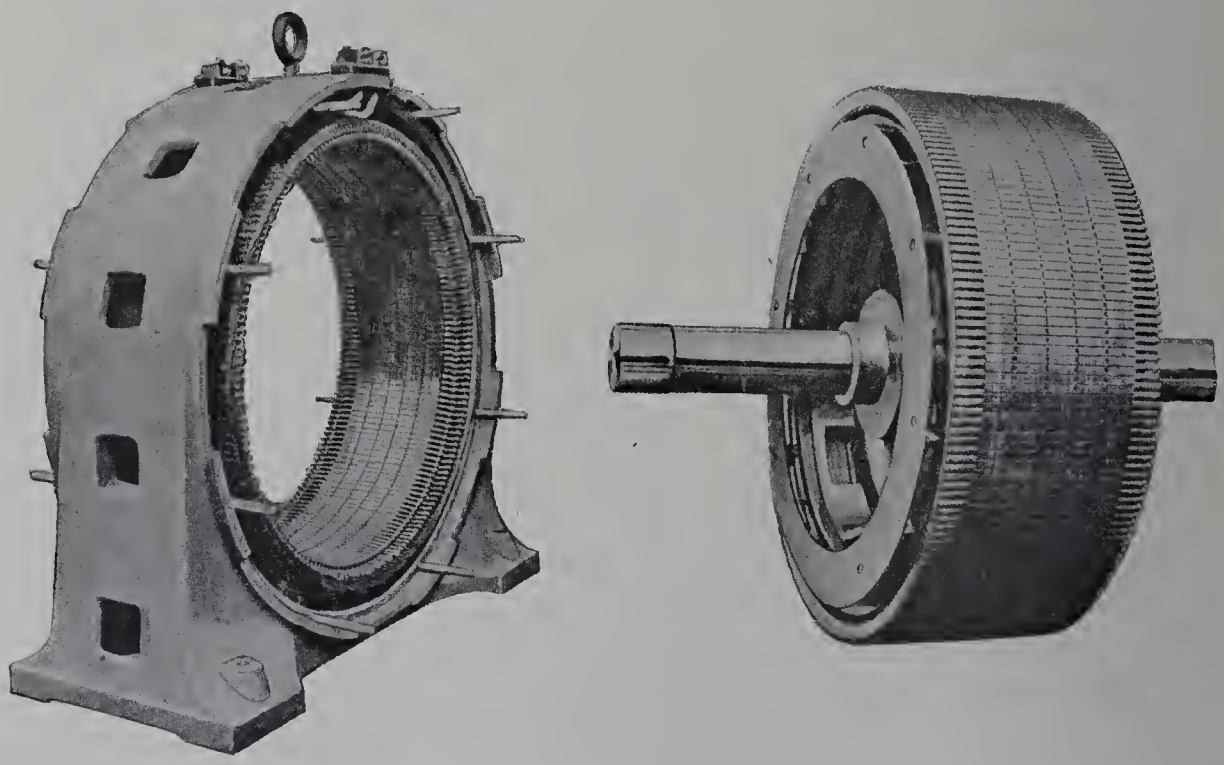


Fig. 100. — Stator et rotor en cage d'écureuil des moteurs asynchrones à courants triphasés de la Compagnie Westinghouse.

ne dispose les bobines successives de trois phases que sur deux gabarits, l'un restant sur le cylindre d'enroulement, l'autre se relevant à l'extérieur de ce cylindre. L'enroulement triphasé nouveau ressemble donc absolument à un enroulement diphasé. Cet enroulement économise un gabarit et permet de retirer facilement la partie tournante hors de la partie fixe du moteur, sans avoir à démonter celle-ci.

Rotor. — Le rotor est également constitué par une carcasse en tôle de fer de 0,5 à 1 millimètre d'épaisseur percée de trous dans lesquels se loge le bobinage induit. L'entrefer doit être aussi petit que le permet la perfection de la construction, en vue de réduire le courant magnétisant et la dispersion. Les moteurs d'Oerlikon ont un entrefer égal au millième du diamètre du rotor. La perte par hystérésis étant faible, il est inutile de ménager des canaux de ventilation dans les tôles du rotor.

Pour les moteurs de faible puissance, le nombre de trous percés dans le rotor est premier avec celui des trous du stator. L'enroulement, jusqu'à 3 ou 4 kilowatts, est fait en court circuit, soit en cage d'écureuil, soit en fils de cuivre *nus* disposés dans les trous du rotor garni d'un isolement. L'emploi du rotor en fils nus permet de réduire le nombre de soudures et de fabriquer un rotor plus économique, aussi solide et moins résistant électriquement qu'une cage d'écureuil. La figure 99 représente ce dispositif appliqué par les Ateliers d'Oerlikon à ses moteurs de faible puissance.

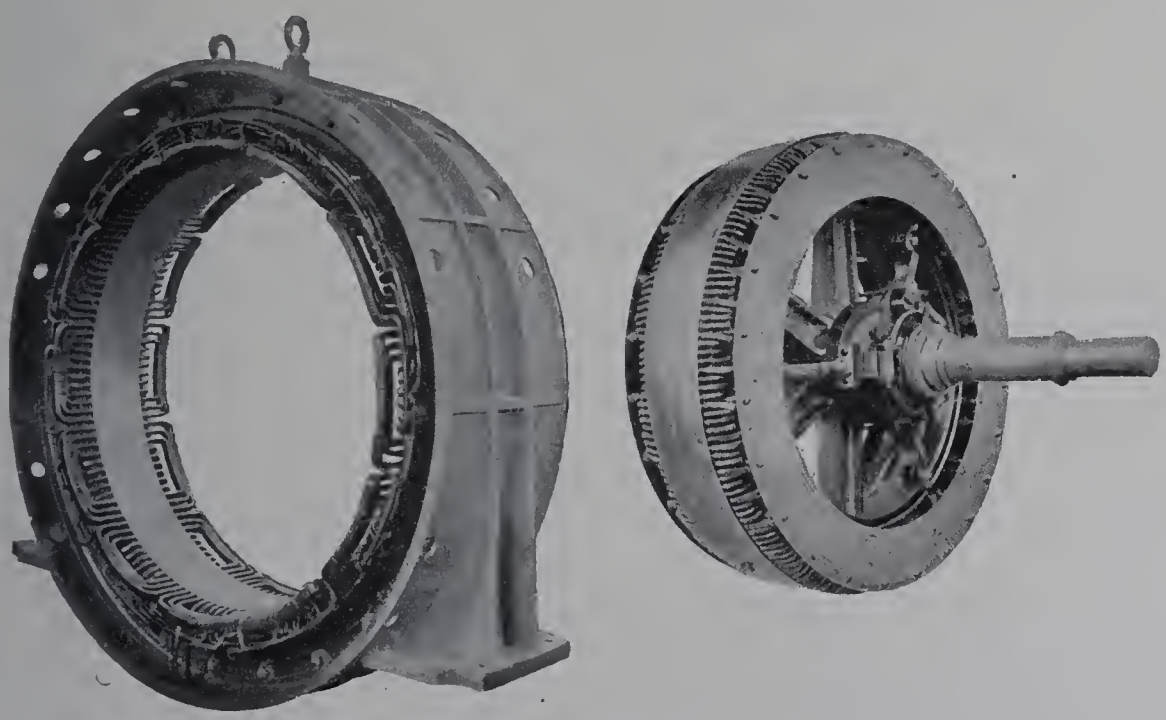


Fig. 101. — Stator et rotor à courants triphasés des Ateliers d'Oerlikon.

Les moteurs d'une puissance supérieure à 3 kilowatts ont un enroulement intérieur et multipolaire triphasé en étoile, analogue à celui de l'induit des alternateurs triphasés, et dont les trois extrémités sont reliées à trois bagues isolées sur lesquelles appuient trois frotteurs reliés eux-mêmes à un rhéostat triple permettant d'introduire des résistances variables dans l'induit, suivant le procédé indiqué par M. Maurice Leblanc, en 1889, pour les moteurs à courants diphasés. Cet enroulement triphasé est fait avec un nombre de pôles égal à celui du stator. Il est combiné pour ne pas être trop gros, ce qui grossirait les bagues de prises de courant et le rhéostat de démarrage, ni trop fin, pour que les tensions développées dans le rotor ne soient pas excessives et n'im-

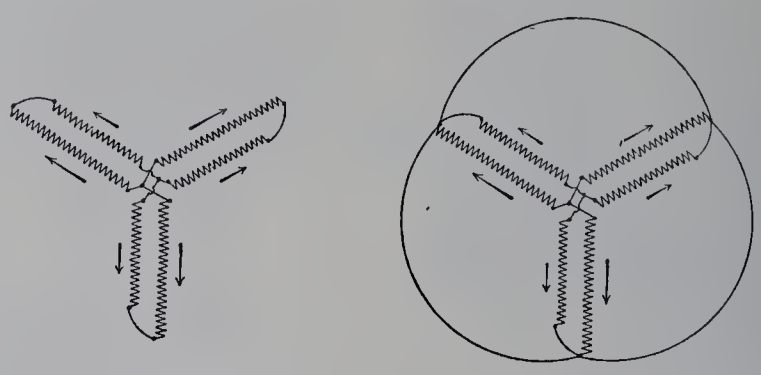
posent pas un isolement trop coûteux. La figure 100 représente, à titre d'exemple, un *stator* triphasé et un *rotor* en cage d'écureuil de la Compagnie Westinghouse.

La figure 101 représente, séparés, le stator et le rotor d'un moteur à courants triphasés de 240 kilowatts, des Ateliers d'Oerlikon, avec dispositif de mise en court circuit de l'induit après démarrage. L'enroulement est en fils de cuivre et ne comporte en tout que 25 soudures, beaucoup moins que n'en comporterait un enroulement à barres.

Rotor avec coupleur. — Lorsque la puissance du moteur ne dépasse pas 30 kilowatts et que le couple au démarrage n'excède pas les trois quarts du couple à charge normale, la Société alsacienne de Constructions mécaniques emploie un *rotor* à coupleur bobiné en deux groupes. Pendant la période de démarrage, les forces électromotrices qui se développent dans les deux sections de l'enroulement sont de sens contraires.

L'inégalité du nombre de spires et leur montage en opposition produisent dans le circuit le courant nécessaire au démarrage avec un couple intense. Dès que le *rotor* atteint une vitesse voisine du synchronisme, on ferme un interrupteur qui met simultanément toutes les sections de l'enroulement en court circuit (fig. 102). Cet interrupteur est manœuvré à la main ou automatiquement.

Les *rotors* à coupleur s'emploient jusqu'à des puissances de 75 kilowatts pour des démarrages à vide. Pour les moteurs à coupleur dont la marche est presque continue, un dispositif spécial supprime le frottement des balais sur les bagues pendant la marche, après la mise en court circuit des trois sections triphasées.



Couplage en tension. Couplage en quantité.

Fig. 102. — Rotor à coupleur de la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

Démarrage des moteurs à courants alternatifs simples. — Le démarrage de moteurs à courants alternatifs simples se fait généralement à vide, afin de diminuer le temps nécessaire au démarrage, de réduire l'intensité initiale du courant et de diminuer la réaction du moteur sur l'éclairage. Le démarrage à vide s'obtient d'une manière très simple en munissant le moteur de poulies fixe et folle ou d'un embrayage à friction. Cette disposition simplifie la transmission, car elle supprime alors sur celle-ci la poulie folle et l'embrayage.

Pour les moteurs de très faible puissance, jusqu'à 500 watts, le moteur peut ne com-

porter aucun dispositif auxiliaire. Il suffit de lui imprimer une impulsion initiale en tirant sur la courroie et de fermer aussitôt le circuit en continuant l'action impulsive.

Pour des puissances supérieures à 500 watts, l'induit porte deux enroulements, un enroulement principal et un enroulement auxiliaire qui transforme le champ alternatif en champ tournant. En fermant le circuit, une résistance non inductive est intercalée dans le circuit principal, et une résistance fortement inductive dans le circuit auxiliaire, afin d'obtenir un *déphasage* suffisant des deux courants. Lorsque le moteur a atteint sa vitesse de régime, la résistance non inductive est mise en court circuit, et l'enroulement auxiliaire est mis hors circuit par la manœuvre d'un inverseur spécial disposé sur le démarreur.

Pour les moteurs dont la puissance dépasse 3 ou 4 kilowatts, le rotor est muni du dispositif de M. Maurice Leblanc permettant de faire varier le couple moteur et de lui donner la valeur maxima correspondant à chaque vitesse. Le démarrage en champ tournant des moteurs à courants alternatifs simples, avec ou sans résistances variables intercalées dans l'induit, constitue la solution la plus généralement adoptée, et celle que présentaient plus de vingt constructeurs à l'Exposition.

Le système de démarrage de M. Heyland, construit par la Compagnie internationale d'Électricité, de Liège, diffère notablement des autres, en ce que le second circuit, destiné à produire le démarrage, disposé de façon à créer un champ alternatif décalé sur le champ normal de 90 degrés — pour un moteur à deux pôles — est constitué par un enroulement fermé sur lui-même ne comportant qu'un petit nombre de spires et présentant, par suite, un faible coefficient de self-induction. Dans ces conditions, le flux magnétique dû à ce circuit auxiliaire de démarrage est plus intense que celui produit par l'enroulement normal et se trouve déphasé sur celui-ci de près d'un quart de période. On obtient ainsi un grand couple de démarrage égal à celui qui correspond à la marche normale en n'absorbant qu'un courant double du courant normal à pleine charge.

Les Ateliers d'Oerlikon, la Compagnie générale électrique, etc., emploient, pour faire démarrer le moteur d'une puissance supérieure à un kilowatt, un dispositif identique en principe, et qui consiste à transformer momentanément le moteur à courants alternatifs simples en moteur à champ tournant alimenté par des courants alternatifs diphasés. Ces courants diphasés sont obtenus par deux dérivations établies sur le réseau, et dont les constantes de temps sont très différentes, afin d'obtenir un champ tournant. A cet effet, le circuit principal est branché sur le réseau en y intercalant une résistance auxiliaire sans self-induction.

Le second circuit, ou circuit de démarrage, comporte une résistance aussi faible que possible, et présente un coefficient de self-induction aussi élevé que possible, grâce à l'emploi d'un bobinage couplé en tension avec une bobine de self extérieure. Dans ces conditions, le courant traversant le courant principal est presque en phase avec la différence de potentiel qui l'alimente, tandis que le second circuit est presque en quadrature, ce qui produit le déphasage nécessaire à la création d'un champ tournant.

Sous l'influence de ce champ, le moteur démarre, à vide ou sous faible charge, et dès que la vitesse est suffisante, à l'aide d'une seule manœuvre d'un commutateur approprié, on met en court circuit la résistance additionnelle du circuit normal et on rompt le circuit auxiliaire de démarrage.

L'ensemble du dispositif comprenant le commutateur, la résistance non inductive et la résistance inductive constitue le *démarreur*.

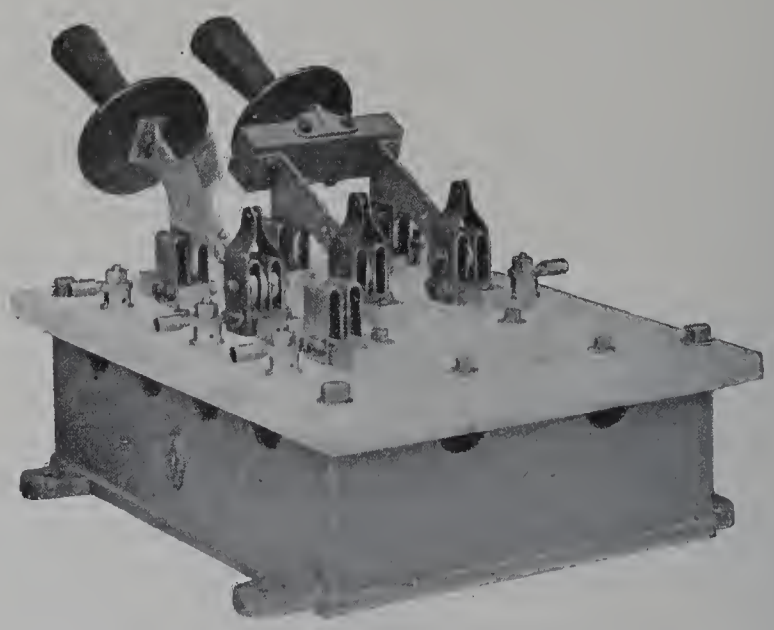


Fig. 103. — Commutateur de démarrage des Ateliers d'Oerlikon.

La figure 103 représente, à titre d'exemple, le démarreur des Ateliers de construction d'Oerlikon. Les poignées en ébonite sont munies de disques de garde pour protéger les mains de l'ouvrier qui le manœuvre du contact des parties à haute tension et des étincelles de rupture.

Pour des moteurs dont la puissance dépasse 3 kilowatts, le système de démarrage se complète par un rhéostat introduisant des résistances variables dans le rotor.

Auto-démarreur Westinghouse. — Les moteurs Westinghouse sont à cage d'écureuil, ce qui ne permet pas d'introduire de résistances dans le *rotor* au moment du démarrage. Pour éviter un courant excessif au moment de la fermeture du circuit, on ne fournit au moteur qu'une fraction de la tension normale de régime, en le reliant à un auto-démarreur constitué par des auto-transformateurs en nombre égal à celui des circuits (deux pour les courants diphasés, trois pour les courants triphasés). Dans l'une des positions, les auto-transformateurs sont branchés sur le circuit, et les enroulements inducteurs du moteur sur une partie seulement des bobines. Ces bobines sont fractionnées en plusieurs parties, et les connexions ajustées d'après le couple de démarrage à réaliser et l'accroissement momentané de courant que l'on peut tolérer sur le réseau. Lorsque le moteur est en vitesse, on ramène rapidement le levier de l'auto-démarreur de la position

de démarrage à la position de marche normale. L'enroulement inducteur est alors relié directement au circuit d'alimentation.

Sur les courants diphasés à quatre fils, pour lesquels il existe des forces électromotrices différentes entre deux fils d'un même circuit et deux fils de circuits différents, on utilise ce fait pour réaliser économiquement un auto-démarreur. L'auto-transformateur est alors supprimé et l'appareil de démarrage se réduit à un commutateur qui, dans une de ses positions, met le circuit sur la faible tension, entre fils de circuits différents, et qui, pour la marche normale, couple les enroulements inducteurs du stator sur les deux circuits diphasés.

Moteur Boucherot. — Pour supprimer les rhéostats, les bagues et les balais, et n'absorber à chaque instant qu'un courant proportionnel au couple de démarrage, M. Boucherot a eu l'idée de disposer dans l'induit deux enroulements en cage d'écureuil, dont les constantes de temps sont très différentes.

La cage extérieure à grande résistance agit au moment du démarrage et la cage intérieure, moins résistante, lorsque la vitesse angulaire est voisine du synchronisme.

Les conditions auxquelles doit satisfaire l'enroulement induit pour que le couple moteur soit à chaque instant maximum pendant la période de démarrage sont mieux satisfaites dans le moteur à double stator de M. Boucherot, exposé par la Maison Bréguet.

Le moteur dit *type* α est constitué en principe par deux inducteurs montés sur un bâti commun et par un induit unique muni d'un bobinage spécial.

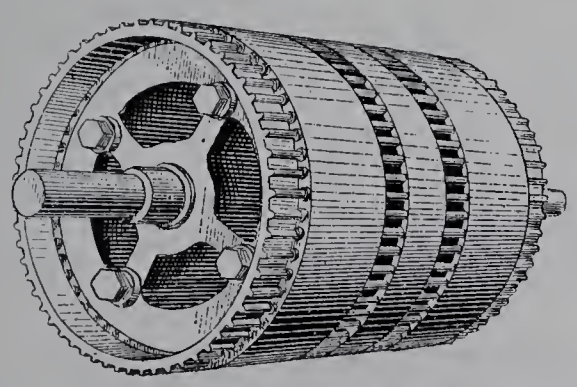


Fig. 104. — Rotor double du moteur Boucherot.

Chaque inducteur est formé d'une série de tôles minces; l'un d'eux est fixé sur le bâti, tandis que le second inducteur est déplaçable d'un certain angle par rapport au premier autour d'un axe commun. Ce déplacement s'obtient à l'aide d'un levier ou d'un volant commandant une vis sans fin.

L'enroulement de chacun des *stators* est celui d'un inducteur ordinaire de moteur à courants polyphasés; le bobinage peut être réalisé en étoile ou en triangle, et le couplage des *stators* entre eux peut s'effectuer en série ou en quantité, suivant le mode de groupement le plus avantageux pour la tension adoptée. La division du système inducteur

en deux éléments facilite grandement le choix des dispositions à adopter sans qu'il soit besoin d'insister plus longuement sur les combinaisons possibles.

La liaison entre l'inducteur fixe et l'inducteur mobile est obtenue par des câbles souples.

Le *rotor* (fig. 104) est formé, comme l'inducteur, de deux armatures en tôles minces perforées et solidement montées sur l'arbre commun; chacune des armatures correspond à l'un des stators lorsque le moteur est assemblé. Les barres de cuivre de la cage d'écureuil sont communes aux deux armatures et soudées par leurs extrémités à deux cercles en cuivre; l'intervalle laissé libre entre les deux armatures est occupé par une frette en métal de grande résistivité (fer, maillechort ou ferro-nickel), rivée et soudée sur les différentes barres de la cage d'écureuil.

Les deux *stators* sont disposés au repos, l'un par rapport à l'autre, de telle sorte que les enroulements de l'un d'eux soient déplacés par rapport aux enroulements de l'autre de l'espace angulaire correspondant à une demi-période.

Cette position est celle du démarrage, qu'on obtient par simple fermeture de l'interrupteur.

Dans ces conditions, les pôles magnétiques excités dans les deux *stators* suivant les mêmes génératrices sont de signes contraires, et les courants induits dans les barres de la cage d'écureuil étant en opposition se réunissent en quantité à travers la frette de maillechort. Le moteur démarre alors absolument comme un moteur à résistances variables dans l'induit et avec les mêmes propriétés, c'est-à-dire que le courant absorbé est proportionnel au couple développé.

Lorsque l'induit s'est mis en mouvement, ce qui a lieu immédiatement après la fermeture de l'interrupteur, on réduit progressivement l'angle des deux systèmes de champs magnétiques jusqu'à ce que le stator que l'on déplace vienne occuper la position correspondant à la concordance des phases des forces électromotrices induites; il ne passe plus alors aucun courant par la frette en maillechort : c'est la position de marche normale. Cette manœuvre ne demande que quelques secondes et peut être facilement combinée avec la fermeture de l'interrupteur.

Moteur à grand couple de démarrage de M. Max Déri. — Pour obtenir, dans un moteur à courants alternatifs, simples ou polyphasés, un grand couple au démarrage et supprimer toutes résistances ou tous contacts glissants pendant la marche normale, M. Max Déri, de Vienne, a eu l'ingénieuse idée de munir l'induit d'un enroulement combiné de telle façon que, pour un couplage inducteur donné, développant un certain nombre de pôles autour de l'induit, l'enroulement fonctionne dans les conditions favorables au démarrage, et qu'en modifiant le couplage inducteur, automatiquement ou à la main, l'enroulement agisse comme s'il était mis en court circuit,

Ce principe comporte un grand nombre de variétés dans son application. Dans le type exposé par M. Max Déri dans la section autrichienne, le couplage des inducteurs à *six* pôles lui donne les propriétés d'un moteur à induit bobiné avec collecteur et balais en

court circuit, comme le moteur dit *à répulsion* exposé par M. le professeur Elihu Thomson, en 1889.

En couplant l'inducteur pour qu'il développe *huit* pôles autour de l'induit, le moteur devient asynchrone à courants alternatifs simples avec enroulements multiples en court circuit sur eux-mêmes. Un régulateur à force centrifuge produit automatiquement le couplage à huit pôles lorsque la vitesse angulaire atteint une valeur suffisante (fig. 105).

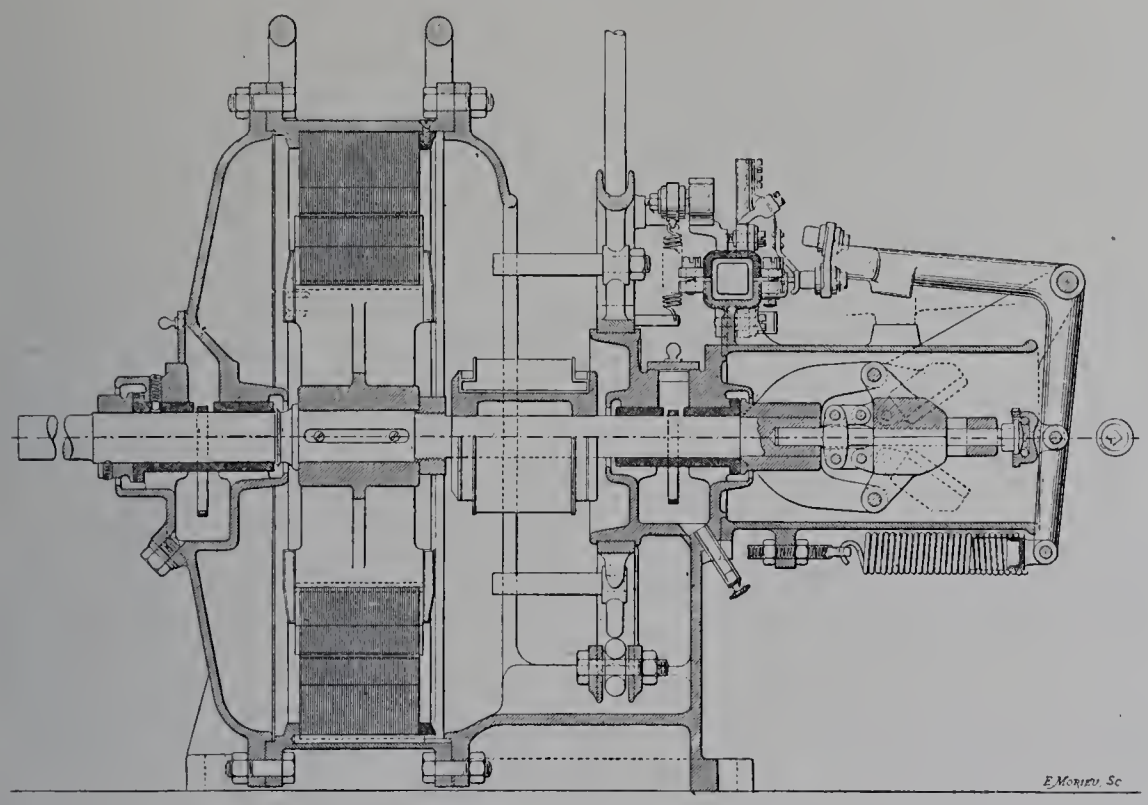


Fig. 105. — Moteur Max Déri à changement automatique du nombre de pôles. Coupe longitudinale.

Ce type de moteur produit, au démarrage, un couple égal à 2.6 fois le couple normal avec un courant ne dépassant pas 1.6 fois le courant en marche normale.

DONNÉES DE CONSTRUCTION ET DE FONCTIONNEMENT DE QUELQUES MOTEURS ASYNCHRONES À COURANTS TRIPHASÉS.

ÉLÉMENTS.	FIVES-LILLE.	KRIZIK.	OERLIKON.	RIETER.
Nombre de phases	3	3	3	3
Fréquence, en périodes, par seconde	50	50	50	50
Puissance, en kilowatts	45	5,15	9,6	8,8
Tension entre deux fils, en volts	190	190	190	190
Vitesse angulaire théorique à vide en tours par minute	600	1 500	1 000	1 000
Nombre de pôles	10	4	6	6

ÉLÉMENTS.	FIVES-LILLE.	KRIZIK.	OERLIKON.	RIETER.
INDUCTEUR.				
Diamètre extérieur de la carcasse inductive, en centimètres.	90	44	44	54
Largeur suivant l'axe, en centimètres	16	14	14,5	14
Hauteur radiale, en centimètres	9	//	7,75	10
Diamètre intérieur (alésage)	72	26,2	29	30
Entrefer, en millimètres	1	1	0,6	0,5
Nombre... de rainures, encoches ou trous	150	48	72	72
Nombre... de rainures par pôle et par phase	5	//	3	4
Nombre... de bobines par phase	5	2	9	3
Nombre... de spires par bobine	115	48	20	28
Nombre... de spires par encoche	23	12	5	7
Diamètre du fil inducteur, en millimètres	3,6	2,3	4,4	4,2
Section, en millimètres carrés	10,2	//	//	//
Couplage.. des bobines de chaque phase	Série.	Série.	Série.	Série.
Couplage.. des phases	Étoile.	Triangle.	Étoile.	Étoile.
Résistance de chaque phase, en ohms	0,016	0,0774	0,065	0,10
Poids du cuivre inducteur, en kilogrammes	60	11,4	18	//
INDUIT.				
Diamètre extérieur, en centimètres	71,8	26	28,88	29,9
Hauteur radiale, en centimètres	6,5	//	6,5	//
Largeur suivant l'axe, en centimètres	16	14	14,5	//
Nombre de rainures, encoches ou trous	252	60	96	54
Nature de l'enroulement induit	Bobiné.	Bobiné.	Bobiné.	Bobiné.
Nombre... de phases	3	3	3	3
Nombre... de barres ou fils par phase	84	40	//	18
Couplage.. des barres	Série.	Série.	//	//
Couplage.. des phases	Étoile.	Étoile.	Étoile.	Triangle.
Diamètre du fil induit, en millimètres	//	3,2	4 fils de 2,8	5
Résistance par phase, en ohms	0,014	0,0663	0,02	0,3
Poids..... de cuivre induit, en kilogrammes	70	9	15	//
Poids..... total du moteur, en kilogrammes	1 500	260	460	//
Courant en pleine charge, en ampères, par phase	162	13,3	41,3	35,4
Puissance apparente à pleine charge, en kilovoltampères	53,4	7,6	13,6	//
Facteur de puissance	0,9	0,82	0,87	//
Puissance électrique fournie	48	6,2	11,8	//
Rendement industriel, en pour 100	92	83	87	0,87
Glissement, en pour 100, à pleine charge	4,2	3,2	3	3,5
Courant à vide, en ampères	//	//	14	//

APPLICATIONS DES MOTEURS ÉLECTRIQUES.

Les applications des moteurs électriques sont aujourd'hui innombrables, et la seule énumération de celles qui étaient exposées occuperait plusieurs pages de ce rapport. Nous ne pouvons mentionner ici que quelques-unes de ces applications, caractérisées par leur originalité plus ou moins caractéristique.

Moteurs transportables. — Grâce aux facilités que présente la canalisation de l'énergie électrique à l'aide de fils souples, et à la légèreté du moteur électrique, un grand nombre de ceux-ci sont établis sur des brouettes ou des chariots et se transportent ainsi facilement d'un point à un autre dans les ateliers, pour la commande des machines-outils (perceuses, fraiseuses, etc.), dans les caves, pour la mise en marche des pompes à vin ou à bière, dans les mines pour la commande des perforatrices, etc.

Commande de machines-outils. — Le moteur électrique envahit de plus en plus les ateliers de construction mécanique. Après avoir été utilisé comme moteur unique commandant chaque atelier séparé d'une usine, en empruntant la puissance électrique à une usine centrale, on a fait usage d'un moteur par groupe d'outils, et la tendance actuelle est aujourd'hui d'employer un moteur pour chaque outil, ce moteur constituant, dans bien des cas, une partie intégrante de l'outil lui-même, sans courroies ni transmissions intermédiaires, ce qui réalise une économie de place, de prix, et donne, en résumé, un meilleur rendement global, chaque moteur ne fonctionnant qu'autant qu'il travaille.

On l'applique aux raboteuses, fraiseuses, poinçonneuses, perceuses, machines à travailler le bois, machines à imprimer, à polir, ventilateurs, essoreuses, etc. Dans toutes ces machines, le moteur électrique ne présente rien de bien spécial; il comporte les mêmes appareils de démarrage, de réglage de vitesse et d'arrêt que ceux précédemment décrits.

Commande des métiers à tisser et à filer. — La Société alsacienne de Constructions mécaniques, qui exposait des métiers électriques disposés pour cette application, justifie leur emploi par les considérations suivantes :

Le *métier à tisser* à commande électrique présente les avantages d'un démarrage plus rapide et d'un mouvement de rotation plus uniforme que celui des métiers conduits par transmission. Les glissements de courroie et la tension des transmissions modifient l'uniformité de la vitesse et nuisent ainsi à la bonne marche des organes essentiels du métier. Toutefois, s'il s'agit de métiers de faible puissance (100 à 400 watts), la commande électrique est sensiblement plus coûteuse et absorbe plus de puissance que la commande par transmission; lorsqu'il s'agit de métiers plus puissants (tissage de la laine), les dépenses et rendements deviennent plus égaux.

Le *métier à filer* (renvideur) est actionné par deux moteurs triphasés : l'un, placé dans la têtière du métier, imprime au grand chariot un mouvement de va-et-vient dont la vitesse est modifiée à l'aide d'une corde et d'un excentrique; l'autre moteur est placé sur le chariot lui-même et actionne le tambour qui commande les croches. La commande électrique permet une augmentation de production assez sensible; elle permet de supprimer les intermédiaires qui retardent la mise en vitesse à chaque reprise de mouvement, et, comme ces reprises se répètent à tout instant, l'économie de temps qui en résulte est assez considérable.

Le *métier à filer continu* à commande électrique présente des avantages particuliers. Il s'agit de donner à la machine une vitesse constamment variable de façon à enrouler le fil avec une tension pratiquement égale sur toute la hauteur de la bobine de fil. Le renvidage de la bobine de fil étant fait sur un cône, la tension du fil de coton ne reste pas constante lorsque la vitesse de rotation de la bobine est constante, comme cela est le cas avec les machines commandées par transmission mécanique.

Le moteur électrique permet de varier constamment la vitesse de rotation de la bobine, suivant le diamètre sur lequel le fil s'enroule; on emploie dans ce but un rhéostat dont la manette est reliée au mécanisme de la machine, de façon à avoir une vitesse minima lorsque le fil s'enroule sur le grand diamètre et maxima lorsqu'il s'enroule sur le petit diamètre. Dans les diamètres ordinaires, on est obligé de limiter la vitesse des bobines à la vitesse réduite qui correspond au grand diamètre de la bobine; dans le métier électrique, au contraire, cette vitesse réduite n'existe qu'au grand diamètre, et elle est augmentée proportionnellement à la réduction du diamètre. La production est donc considérablement augmentée. Le courant continu se prête le mieux à cette application spéciale. Sa vitesse peut être variée par un rhéostat de champ qui, pratiquement, ne donne lieu à aucune perte.

Machines à river de la Société réunie d'électricité de Vienne. — Cette machine à river, du système Kodolitsch, fournit 1 200 rivures de 18 millimètres de diamètre à l'heure, d'après les essais auxquels elle a été soumise. La puissance absorbée par la machine est d'environ 250 watts pendant la période de lancement des marteaux, et de 5 000 watts au moment de l'exécution de la rivure. En voici le principe : Un moteur électrique à induit fermé met en mouvement un marteau volant dont l'énergie cinétique se dépense en exerçant un effort considérable exercé sur une faible course pendant l'instant que dure l'exécution d'une rivure. On arrive de la sorte à exercer sur les rivets une force totale de 40 tonnes, suffisante pour écraser d'un seul coup des rivets de 25 millimètres de diamètre.

Tous les paliers de la machine sont montés sur billes. Le moteur tourne d'abord à vide avec l'induit shunté; dès que l'ouvrier a fermé le courant à l'aide d'un interrupteur qu'il tient à la main, le champ magnétique s'établit et attire le marteau de fer. Entraîné par le frottement, celui-ci actionne une broche qu'il supporte, et sur laquelle se meut un écrou. L'écrou étant combiné avec un levier à river exécute le travail. Dans la période où l'écrou s'élève et où le poinçon touche le rivet, le courant est interrompu, afin que le moteur ne se trouve pas en court circuit. Après avoir été lancé avec force contre le rivet, le levier est renvoyé automatiquement en arrière par réaction; l'écrou reprend alors sa place primitive, l'interrupteur automatique ferme le courant, et l'opération peut recommencer à nouveau. Grâce à l'emploi d'un volant agissant comme un marteau, ce n'est pas l'énergie électrique qui est directement utilisée en vue de la production de pression, mais la seule énergie mécanique emmagasinée. En effet, c'est surtout pour l'exécution de rivures par l'électricité qu'il faudrait mettre à profit les avantages, si uni-

versellement reconnus, de la transmission d'énergie par l'électricité; les machines à river hydrauliques sont les seules qui puissent constituer une concurrence sérieuse sous ce rapport aux riveuses hydrauliques ou à l'air comprimé.

Appareils électro-magnétiques. — M. de Bovet exposait une très intéressante collection de photographies relatives aux appareils à adhérence magnétique, qu'il a réalisés avec le concours de MM. Hillairet et Huguet comme constructeurs. Ces appareils consistent en poulies de tonage, embrayages et freins magnétiques.

MM. Albert Guénée et Cie ont réalisé et exposé des électro-aimants à longue course à effort constant ou variable à volonté suivant une loi donnée. L'un de ces appareils en fonction produisait un effort de 650 kilogrammes, avec une course de 22 centimètres. Ils montraient également l'application de ces électro-aimants à la manœuvre d'aiguilles de chemins de fer, de sémaphores et de servo-moteurs électriques pour la commande de barres de gouvernail, le pointage horizontal des tourelles et le pointage en hauteur des canons.

Régulateur à frein électrique. — Le régulateur électrique à frein de M. H. Rieter a pour objet de maintenir constante la vitesse angulaire d'une turbine, etc., pour une charge variable dans le cas où la turbine ne posséderait pas de régularisation automatique, ou un régulateur insuffisant, ce qui arrive souvent pour des turbines à faible chute et à grande variation de charge.

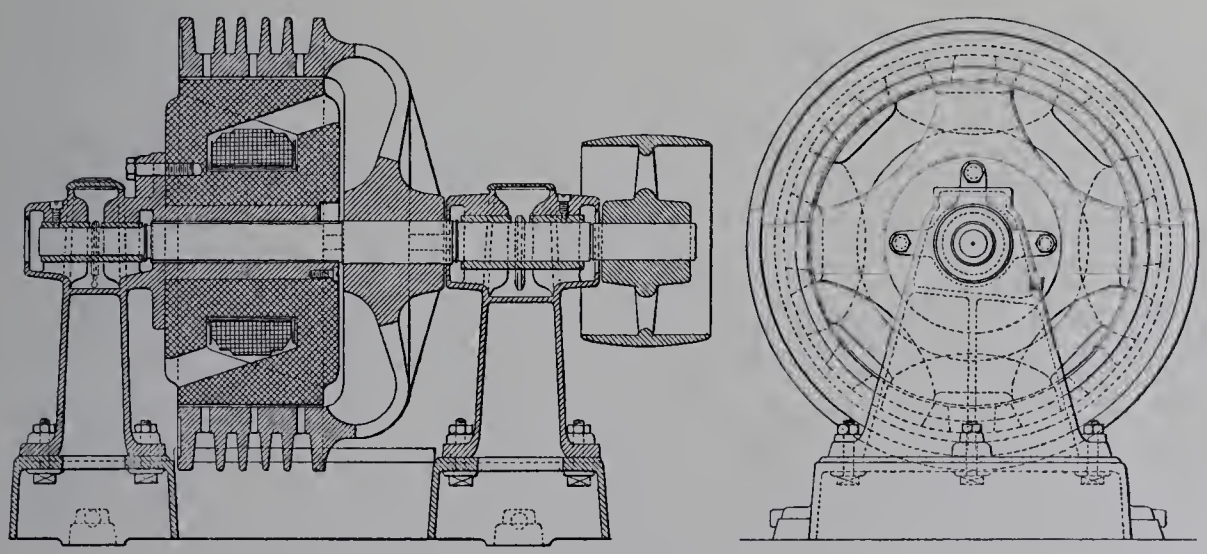


Fig. 106. — Frein électro-magnétique du régulateur de turbines de Rieter.

Le principe du régulateur de M. Rieter est des plus simples; il est fondé sur les courants de Foucault ou sur la résistance qu'oppose au mouvement une masse métallique soumise à l'influence d'un champ magnétique. Le couple résistant est proportionnel à l'intensité de ce champ; on agira donc sur ce dernier en faisant varier l'excitation (fig. 106).

Cette variation est obtenue à l'aide d'un rhéostat actionné par un régulateur à boules monté sur l'axe de la turbine. Par la force centrifuge, les boules s'écartent plus ou moins et soulèvent ainsi une pièce portant des contacts dont toutes les longueurs vont en diminuant. Ces tiges se trouvent au-dessus d'une cuve à mercure ; lorsque la vitesse croît, le porte-contact s'abaisse et le rhéostat est supprimé du circuit, l'excitation augmente, et le frein agit ; l'inverse se passe lorsque la vitesse diminue. Le courant d'excitation du système peut être pris soit directement sur la dynamo que l'on cherche à régler, soit sur une batterie d'accumulateurs. Le frein est constitué par un système inducteur mobile et un grand anneau de fer fixe. Cet anneau est muni d'ailettes facilitant le refroidissement nécessaire pour lutter contre l'échauffement qui tend à se produire et qui est d'ailleurs sans inconvénient.

DISTRIBUTION, TRANSMISSION ET TRANSPORT
DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE.

L'Exposition de 1900 constituait un magnifique et grandiose exemple de transmission et de distribution de l'énergie électrique, et jamais il n'a été donné aux électriciens de voir un plus grand nombre de systèmes si divers simultanément en fonction. Nous ne saurions mieux faire, à propos de ces installations, que de renvoyer au Rapport établi par M. R. V. Picou, ingénieur en chef du service des installations électriques, sur les *Services électriques de l'Exposition universelle de 1900*. On y trouvera exposés avec une méthode parfaite les renseignements les plus complets sur les groupes installés, les systèmes de production, de distribution, de canalisation, et les modes de transformation.

En dehors des services électriques de l'Exposition, les systèmes de transmission et de distribution étaient plutôt représentés par des organes propres à effectuer ces opérations que par l'ensemble du système lui-même. La plupart de ces organes ont déjà été mentionnés.

Nous n'avons donc à signaler ici plus particulièrement que quelques installations ou systèmes spécialement représentés par des appareils ou des dessins d'ensemble.

Considérations générales. — Le problème de la *distribution* de l'énergie électrique produite dans une usine centrale aux différents *consommateurs* ou *abonnés* comporte des solutions nombreuses et variables avec les circonstances.

Si les consommateurs sont répartis dans un petit rayon autour de l'usine génératrice, on se contente de réaliser une *distribution* directe, généralement à courant continu et à potentiel constant.

Si la distance augmente, la distribution est *indirecte* et se complique d'une *transmission* de l'énergie à haute tension et transformation sur place à basse tension. On emploie le plus utilement, dans ce cas, les courants alternatifs simples.

Si, enfin, la distance entre l'usine génératrice et les points d'utilisation est très grande, et que les appareils d'utilisation forment des groupes, des agglomérations, on a recours à un véritable *transport*. On utilise dans ce but des courants alternatifs diphasés ou triphasés à haute tension (2 000 à 50 000 volts) ou des courants continus à intensité constante (système Thury). Le transport est caractérisé par ce fait — qui le distingue de la transmission — qu'il comporte toujours une ou plusieurs *sous-stations* dans lesquelles arrive le courant de transport, et où il se transforme pour alimenter un *réseau* à tension plus basse, et dans lequel le courant distribué a une forme souvent différente de celle du courant de transport.

I. — DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE.

La distribution de l'énergie électrique se fait sous forme de courant continu à potentiel constant, 110 à 220 volts, avec un pont unique (110 volts), deux ponts et trois fils (220 volts) ou quatre ponts et cinq fils (440 volts).

La plupart des dispositions adoptées pour ces distributions sont aujourd'hui bien connues et figuraient déjà à l'Exposition de 1889. Il n'y a donc pas lieu d'insister sur leurs dispositions d'ensemble, relatives à la mise en parallèle des dynamos et à leur réglage, à l'emploi des accumulateurs et des survolteurs, au réglage de la tension aux extrémités des feeders, etc.

Colonne de commande. — La mise en service des grosses unités génératrices se fait généralement non pas au tableau de distribution, mais par une *colonne de commande* disposée près de la dynamo et constituée par une colonne en fonte sur laquelle sont montés, dans le cas d'un courant continu, un ampèremètre et un voltmètre, un volant à axe vertical agissant sur l'excitation de la dynamo et un levier commandant l'interrupteur général. Le rhéostat et l'interrupteur sont placés sous la colonne.

D'autres constructeurs, tels que la Société Schuckert disposent les appareils de commande dans un kiosque carré dont les panneaux supportent les appareils de mesure, l'un d'eux formant une porte qui donne accès à l'intérieur.

Tableaux de distribution. — Les tableaux de distribution sont établis suivant deux principes bien distincts, suivant qu'ils sont destinés à des installations permanentes ou sensiblement telles, ou qu'ils sont établis dans des usines pour lesquelles il a été prévu un développement graduel et normal des unités génératrices et des feeders.

Dans les installations permanentes, le tableau est unique, et les appareils qui le composent sont montés à demeure sur une dalle de marbre blanc de dimensions appropriées et maintenue verticalement dans un châssis en fer cornière. Les connexions entre les appareils se font toutes par la face postérieure du tableau, éloigné du mur d'une longueur suffisante pour que la surveillance, l'entretien et le remplacement éventuels puissent se faire facilement.

Les tableaux des grandes installations pour lesquelles des extensions sont prévues sont établis sur le principe général des panneaux individuels juxtaposés ou superposés. L'extension se fait en rajoutant des panneaux de chaque côté.

Nous signalerons, à titre d'exemple, le tableau de distribution de la Société industrielle d'électricité (procédés Westhinghouse) pour distribution d'énergie jusqu'à 750 volts. Sur la gauche sont disposés les panneaux de génératrices, le milieu est occupé par un panneau totalisateur, à droite sont les panneaux de feeder.

Le panneau de *génératrice* comporte une lampe avec support et abat-jour, un indicateur de terre, un ampèremètre, un voltmètre, un disjoncteur unipolaire, une prise de

courant à fiche de voltmètre et un interrupteur tripolaire (dans le cas de dynamos compound). Sous le panneau de la génératrice est un panneau de rhéostat portant les plots de contact et la manette de manœuvre. Le panneau *totalisateur* comprend un ampèremètre Weston et un voltmètre Weston, tous deux à cadran lumineux. Le voltmètre est monté sur un pivot pour que l'on puisse l'amener sur le devant du panneau et le mettre bien en vue au moment du couplage en parallèle de deux génératrices. La partie inférieure est occupée par un panneau vide ou, plus exactement, un panneau *plein* destiné à compléter le tableau. Le panneau de *feeder* comprend une lampe avec support et abat-jour, un disjoncteur unipolaire et un interrupteur bipolaire. Dans les installations un peu importantes, on dispose un ampèremètre sur un feeder. Dans certains cas, le panneau est double, avec ou sans ampèremètre. La partie inférieure du panneau de feeder est occupée soit par un panneau *plein*, soit par un panneau de *fusibles*.

II. — TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE.

Lorsque la surface sur laquelle doit se faire la distribution présente une grande étendue et une faible densité de consommation, densité représentée par le quotient de la puissance à fournir par la surface sur laquelle elle doit être répartie, on a intérêt, en vue de réduire le prix de canalisation, à *transmettre* cette puissance sous une tension élevée et à la *distribuer* à basse tension.

On emploie dans ce but des courants alternatifs simples et des transformateurs à basse tension. Ces transformateurs eux-mêmes sont, suivant les cas, disposés de différentes façons :

1° Lorsque les centres de consommation constituent des groupes isolés peu importants et distants les uns des autres, on dessert chacun de ces groupes par un transformateur isolé, dont la puissance est proportionnée à la consommation maxima du groupe;

2° Lorsque chaque groupe présente une certaine importance et une certaine étendue, on dessert la zone entière par un *réseau secondaire* à basse tension alimenté par un transformateur ou un certain nombre de transformateurs;

3° Enfin, si le groupe à alimenter est très important, les transformateurs sont disposés dans une *sous-station*, et mis en circuit au fur et à mesure des besoins, afin que tous les transformateurs travaillent à chaque instant à puissance normale et à rendement maximum. C'est à cette combinaison, la plus avantageuse lorsqu'elle est réalisable, que les Anglais ont donné le nom de *Banking*.

Transformateurs isolés. — Ce système est appliqué à Paris par le Secteur des Champs-Élysées et le Secteur de la Rive Gauche qui, au terme du Règlement, figuraient comme exposants, ainsi que tous les secteurs de distribution de la Ville de Paris.

Tous ces transformateurs ont leurs circuits primaires en dérivation sur la haute tension et alimentent les appareils d'utilisation d'un immeuble ou d'un îlot branchés sur

IMPRIMERIE NATIONALE.

le circuit secondaire. Les connexions sont faites à l'aide de dispositifs de sécurité tels que coupe-circuit, appareils de mise à la terre, etc.

Appareil automatique Schlatter. — Dans les réseaux à courant alternatif avec distribution de courant par transformateurs, une perte d'énergie importante résulte de l'aimantation du grand nombre de transformateurs qui, aux heures où les circuits secondaires sont ouverts, restent branchés sur les circuits primaires. C'est dans le but de réduire cette perte par la réduction de l'alimentation des noyaux des transformateurs, que cet appareil a été construit et exposé par la maison Ganz et Cie, de Budapest. Le principe sur lequel les manœuvres automatiques ont lieu est l'insertion d'un petit transformateur, dont le primaire est en série avec le transformateur de service, lorsque le circuit secondaire n'est pas chargé : ce résultat est obtenu par un électro-aimant excité par le courant secondaire, lorsque le circuit secondaire est chargé, équilibré par un poids servant à mettre en série le transformateur de service avec le transformateur auxiliaire. L'enroulement de ce dernier est calculé de manière à réduire le courant d'excitation à une valeur minima qnand il est en série avec l'enroulement primaire du transformateur; il est mis hors circuit dès que le circuit secondaire emporte la moindre charge; le transformateur prend alors la tension totale.

Si la station contient plusieurs transformateurs, la mise en circuit de ces transformateurs s'effectue au fur et à mesure que la charge augmente, à l'aide d'une série d'appareils plus simples que celui qui vient d'être décrit. Cet appareil consiste essentiellement en un électro-aimant excité par le courant secondaire principal, grâce auquel le transformateur est inséré, lorsque le courant atteint une certaine intensité. Le dispositif exposé consistait dans les deux appareils décrits, deux transformateurs chacun de 2 500 watts et une série de lampes destinées à être mises en circuit successivement pour démontrer le fonctionnement des appareils.

Réseaux secondaires. — Ces réseaux sont établis à 110 volts ou 220 volts, deux fois 110 volts ou deux fois 220 volts, suivant l'importance du réseau secondaire. Si l'Exposition de 1900 n'en présentait pas beaucoup d'exemples, c'est que la distribution par courants alternatifs simples n'y était pas employée.

Les deux secteurs parisiens de distribution par courants alternatifs simples n'en offrent pas non plus beaucoup d'exemples, pour des raisons d'ordre purement administratif. Les canalisations revenant à la Ville de Paris en fin de concession, les concessionnaires n'ont aucun intérêt à disposer dans le sol un réseau secondaire important et coûteux pour l'amortissement duquel le temps de la concession est par trop insuffisant.

Sous-stations. — L'emploi de sous-stations desservant un réseau secondaire important à basse tension est relativement peu répandu avec les courants alternatifs simples. Nous le retrouverons, au contraire, très développé avec les courants alternatifs polyphasés. Les sous-stations constituent alors des postes de transformation, non seulement des deux éléments de la puissance électrique fournie, tension et intensité, mais encore

de la *forme* de ces courants, que l'on transforme en courant continu pour la traction, et même pour l'éclairage.

Couplage en parallèle. — L'Exposition ne présentait aucun dispositif de couplage en parallèle des alternateurs à courants alternatifs simples, par l'excellente raison qu'il n'y figurait qu'*un seul* alternateur produisant des courants alternatifs simples.

Le Secteur des Champs-Élysées et le Secteur de la Rive Gauche, qui transmettent et distribuent tous deux l'énergie électrique à la fréquence de 42 périodes par seconde à 3 000 volts au primaire et 110 volts au secondaire, utilisent le dispositif bien connu de l'indicateur de phases avec transformateurs alimentant simultanément des lampes de phase et un voltmètre. Le couplage se fait à l'instant où la lampe passe par son éclat maximum et que le voltmètre indique la tension la plus élevée.

III. — TRANSPORT DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE.

Le transport de l'énergie constitue le cas le plus complexe, car il implique à la fois la *production* de l'énergie électrique dans une usine centrale, la *transmission* de cette énergie à haute tension, sa *transformation* dans des sous-stations, et sa *distribution* aux appareils d'utilisation.

Le transport de l'énergie électrique se fait aujourd'hui par deux systèmes que nous examinerons successivement :

A. *Courants alternatifs polyphasés à potentiel constant.*

B. *Courant continu à intensité constante.*

Lorsque le transport de l'énergie doit se faire sans distribution, lorsqu'il s'agit, par exemple, de transposer une puissance mécanique de grandeur variable du point A au point B, on a fait souvent usage, avant 1892, de deux dynamos série à courant continu, reliées entre elles par une ligne de transport, et dont les bobinages étaient calculés pour que, si la génératrice placée en A tourne à vitesse angulaire constante, la réception tourne également à vitesse angulaire constante, quelle que soit la charge, depuis la marche à vide jusqu'à la puissance normale maxima prévue. Le transport se fait alors à tension et intensité variables. On a renoncé aujourd'hui à cette combinaison qui limite la puissance transmise et rend le contact des machines dangereux. L'Exposition de 1900 n'offrait aucun exemple d'application de ce système à peu près abandonné aujourd'hui.

A. — TRANSPORT PAR COURANTS ALTERNATIFS POLYPHASÉS À TENSION CONSTANTE.

Généralités. — Les courants alternatifs polyphasés ont, depuis 1891, lors de leur première apparition sous forme industrielle d'électricité de Francfort-sur-le-Mein, révolutionné les procédés de transport de l'énergie à distance.

Outre les difficultés de transformation de leurs éléments, tension et intensité, à l'aide de transformateurs dits *statiques*, c'est-à-dire ne comportant aucun organe en mouvement, ils se prêtent facilement à leur transformation en courant continu, à l'aide de *commutatrices* ou de *permutatrices*, les courants polyphasés et le courant continu ayant comme caractéristique commune que la puissance électrique mise en jeu à chaque instant est *constante*, tandis qu'elle est périodique dans les courants alternatifs simples. Cette périodicité impose l'obligation d'avoir recours à des procédés d'emmagasinement mécanique (volant) ou électrique (self-induction) pour transformer le courant alternatif simple en courant plus ou moins continu. En fait, cette transformation ne s'effectue jamais qu'à l'aide de moteurs-générateurs, et seulement lorsqu'on ne dispose pas de courants polyphasés.

En ce qui concerne le choix entre les courants *diphasés* ou *triphasés*, on préfère aujourd'hui généralement les courants triphasés qui, à puissance et tension égales, permettent d'économiser 25 p. 100 du cuivre de la canalisation.

Tensions. — Les tensions employées se sont élevées graduellement, en vue d'économiser le cuivre, avec la distance et la puissance à transporter.

Si l'Exposition de 1900 n'a montré que des transports à 5 000 volts, c'est que les distances à franchir n'étaient pas suffisantes pour que l'on ait recours à des tensions supérieures, et que les règlements de l'Exposition limitaient d'ailleurs cette tension. La plupart des alternateurs produisent d'ailleurs *directement* cette tension. Pour des tensions plus élevées, on préfère avoir recours à des transformateurs élévateurs disposés à l'usine. Cependant on obtient directement 15 000 volts de tension composée avec les alternateurs Brown, Boveri et Cie.

Fréquences. — Les fréquences ont une tendance à l'unification. On a renoncé, en général, aux fréquences supérieures à 60 périodes par seconde, fréquences pour lesquelles on ne sait pas encore, d'ailleurs, construire de commutatrices fonctionnant convenablement.

Les deux fréquences que l'on peut considérer comme normales sont : 50 périodes par seconde pour les installations mixtes comportant à la fois des moteurs et de l'éclairage en courants alternatifs; 25 périodes par seconde pour les installations de moteurs ou de traction, soit directe, soit par l'intermédiaire de commutatrices, ces commutatrices alimentant également les circuits d'éclairage.

Formes des courants alternatifs. — La force électromotrice développée par un alternateur destiné au transport de l'énergie doit se rapprocher le plus possible de la sinusoïde, afin d'éviter les effets de résonance de la capacité de la ligne et de la self-induction des appareils d'utilisation. Ces effets de résonance produisent des surélévations énormes de tension très nuisibles à la conservation des isolants des câbles, des machines, des tableaux et des appareils de mesure.

Il semble résulter des relevés faits à l'Exposition par M. Dobkévitch avec l'oscillo-

graphe de M. Blondel que bon nombre d'alternateurs donnent des courbes de tension qui s'éloignent beaucoup de la sinusoïde et pourraient, avec des tensions élevées et des câbles présentant un peu de capacité, donner naissance à des différences de potentiel dangereuses provoquées par des effets de résonance.

Colonnes de commande. — Chaque groupe électrogène est relié au tableau de distribution en passant par un tableau de commande constitué par une colonne ou un kiosque. La colonne de commande porte, en général, les appareils de mesure, voltmètre, ampèremètre avec leurs appareils de transformation, un interrupteur à haute tension, et un volant agissant sur l'excitation de l'alternateur.

Tableaux à haute tension pour courants alternatifs triphasés. — Un tableau pour courants alternatifs triphasés se compose, en général, de deux parties parallèles, constituées chacune par une série de panneaux individuels.

La partie antérieure est réservée aux alternateurs, la partie postérieure aux feeders ou aux conducteurs de transport. Ces deux parties sont reliées par trois conducteurs nus posés sur isolateurs en porcelaine et auxquels on donne respectivement les trois couleurs : bleu, blanc, rouge, afin de les distinguer et de faciliter les connexions. Ces trois conducteurs forment trois boucles fermées; mais des interrupteurs à couteaux disposés entre les panneaux permettent d'effectuer une coupure de la boucle en un point quelconque et d'isoler ainsi à volonté, de l'ensemble du réseau, un organe quelconque, alternateur ou ligne, sans interrompre le circuit et sans arrêter le fonctionnement du transport. On peut alors procéder sans danger aux réparations et modifications.

Lorsqu'on emploie un *panneau général* pour la mesure du courant total et de la puissance totale, la boucle est ouverte du côté opposé à celui où se trouve ce panneau général, afin que tout le courant et toute la puissance passent par ce panneau général.

Chaque *panneau de dynamo* comporte un interrupteur triple à haute tension, un ampèremètre sur l'une des phases ou quelquefois sur les trois phases, un voltmètre et un dispositif indicateur de phases pour permettre le couplage en parallèle. A la partie inférieure de ce panneau sont placés les organes de réglage de l'excitatrice, si celle-ci est montée en bout d'arbre de la dynamo, ou un rhéostat de réglage, si le circuit d'excitation est commun.

Chaque *panneau de feeder* comporte un interrupteur triple, trois ampèremètres, trois coupe-circuits, trois bobines de réaction sans fer et trois parafoudres.

Le but et les dispositions spéciales de ces appareils ont été examinés à propos de l'appareillage et nous n'y reviendrons pas ici.

Les barres de connexion des différentes parties d'un tableau se font généralement en cuivre; cependant les Ateliers d'Oerlikon emploient l'aluminium pour cette application.

Connexions des appareils de mesure. — Pour ne pas amener de hautes tensions sur la face antérieure du tableau de distribution, la Société anonyme d'Électricité, ci-devant Lahmeyer et Cie, sépare du circuit de chaque phase, à partir du point neutre

de l'enroulement induit étoilé de l'alternateur, un certain nombre de spires de l'induit, une bobine par exemple, et relie le circuit ainsi formé au primaire d'un petit transformateur triphasé dont le rapport de transformation est égal à l'unité et dont la puissance, par rapport à la puissance de la dynamo, dans le même rapport que le nombre de spires connectées au transformateur, au nombre *total* de spires de chaque circuit. Le circuit secondaire de ce transformateur est monté en série avec les trois phases de l'alternateur, et le point neutre de cet alternateur est relié à la terre. Comme le rapport de transformation de ce transformateur est égal à l'unité, il en résulte que l'intensité du courant dans les deux enroulements du transformateur est exactement égale à l'intensité du courant de la machine, tandis que la tension dans chacun des enroulements n'est qu'une partie proportionnelle de celle de la dynamo.

Si l'on insère dans le circuit primaire des transformateurs des appareils de mesure, l'ampèremètre donne directement l'intensité du courant de la machine, tandis que les voltmètres et les wattmètres indiquent une tension et une puissance proportionnelles à la tension et à la puissance de la dynamo. On étalonne ces deux derniers instruments de manière que le cadran indique directement la tension et la puissance réelles.

Mesures de précaution. — En cas d'accident à un alternateur, et pour éviter de couper le circuit inducteur, dont la self-induction énorme pourrait compromettre l'isolement de ce circuit inducteur, la maison Siemens et Halske, de Berlin, dispose sur le pupitre de manœuvre de la machine un commutateur spécial qui met en court circuit les inducteurs de l'excitatrice excitée elle-même en série. On évite ainsi la tension énorme qui se produirait à la rupture de l'excitation, puisque le circuit inducteur reste fermé sur lui-même.

Couplage des alternateurs en parallèle. — Par suite de la grande diversité des puissances, des services et des formes des courants produits par les alternateurs exposés, le service des installations a préféré ne pas coupler les alternateurs en parallèle, et combiner le tableau de distribution de façon à permettre l'alimentation de chaque feeder par plusieurs alternateurs différents. Le service de transport de l'énergie s'est ainsi fait par *substitution* d'une dynamo à une autre, sans aucun couplage.

De même, afin d'éviter les interruptions de service, chaque feeder était doublé et tronçonné en plusieurs parties, ce qui permettait, en cas d'accident, de remplacer un tronçon en mauvais état par un autre et de faire la réparation sans interrompre le service. Les connexions convenables se faisaient par des *boîtes à substitution* convenablement réparties sur les feeders.

Il y avait cependant à l'Exposition un *synchroniseur optique.*

Synchroniseur de l'Elektricitäts Aktien Gesellschaft, vormals Schuckert und C°. — Ce synchroniseur est constitué par une série de lampes à incandescence disposées en cercle sur un panneau de marbre. Ces lampes sont couplées entre les deux circuits triphasés, de telle façon que le cercle se trouve divisé en trois parties brillantes et trois

parties sombres. Les parties alternativement brillantes et sombres se déplacent sur le cercle et paraissent tourner avec lui dans un sens ou dans l'autre, suivant que la fréquence de l'un des courants est supérieure ou inférieure à l'autre, et d'autant plus vite que l'écart des fréquences est plus grand. Lorsque le système paraît immobile, c'est que le synchronisme est atteint, et le couplage se fait alors sans inconvénient.

Indicateur de terre. — La Compagnie française Thomson-Houston emploie deux électromètres à deux paires de quadrants. Une des paires de quadrants de chaque électromètre est reliée à la terre par une résistance en graphite d'environ 6 000 ohms. Les deux autres quadrants de chaque électromètre sont en communication chacun avec un des conducteurs de la ligne, de façon que l'un de ces conducteurs se trouve en relation avec un cadran de chaque électromètre, et les deux autres avec un seul quadrant de l'un des deux électromètres.

Exemples d'installations de transport. — En dehors des installations propres à l'Exposition et à ses services, nous signalerons les *Usines de la Vézère* et les *Installations de transports faites en Suisse*, représentées par des dessins et des graphiques.

Société des Forces motrices et Usines électriques de la Vézère. — La Société des Forces motrices et Usines électriques de la Vézère a exposé un tableau donnant quelques détails de l'installation de l'usine qu'elle installe sur la Vézère au lieu dit *le Saut-du-Saumon* (Corrèze) et indiquant le mode d'établissement de la ligne aérienne de transport d'énergie électrique alors en construction pour relier cette usine à la ville de Limoges, distante de 75 kilomètres.

Usine. — En aval de l'usine sont construits deux bâtiments destinés à recevoir les transformateurs et à servir de logement au directeur de l'exploitation.

Les eaux de la Vézère sont amenées à l'usine par un canal de dérivation à ciel ouvert, construit à flanc de coteau dans le rocher granitique : la longueur du canal est d'environ 1 200 mètres, et la chute utile est de 43 mètres.

L'usine est aménagée pour recevoir sept turbines à axe horizontal de 600 chevaux, actionnant des alternateurs devant fournir du courant triphasé, et deux turbines de 100 chevaux commandant deux dynamos à courant continu, destinées à produire le courant nécessaire à l'excitation des alternateurs et à l'éclairage de l'usine.

Le courant est produit par les alternateurs sous la forme de courant triphasé à la tension de 8 000 vols (tension composée) à la fréquence de 50 périodes par seconde. Une partie de la production de l'usine, destinée à être envoyée à Limoges, est amenée à des transformateurs qui élèvent sa tension à 20 000 volts, tension adoptée en ligne.

Ligne de transport. — La ligne, dont le développement atteint 75 kilomètres, est prévue pour une tension de 20 000 volts et une puissance de 750 kilowatts à recueillir à Limoges.

A la station réceptrice de Limoges, des transformateurs ramènent cette tension à 3 000 volts et envoient directement l'énergie dans le réseau de distribution. Toutefois

l'installation a été prévue dans des conditions telles que, malgré la distance, on puisse accoupler les machines électriques de l'usine à vapeur de Limoges avec celles de l'usine du Saut-du-Saumon, afin d'alimenter le réseau de distribution simultanément par les deux usines marchant en parallèle.

Eu égard aux conditions particulières dans lesquelles se trouve la ligne, vu sa longueur et la tension adoptée, la Société a dû étudier un dispositif d'équipement des poteaux donnant toute facilité pour la pose et l'entretien de la ligne, en même temps qu'il assurait la sécurité de l'exploitation. De plus, ce dispositif devait être susceptible de subir certaines modifications permettant d'intercaler dans la ligne les appareils de sécurité reconnus nécessaires, sans qu'on fût obligé de changer l'aspect et la composition des ossatures prévues.

Équipement des poteaux. — Les conducteurs, formés chacun d'un câble en cuivre de 30 millimètres carrés de section, sont disposés symétriquement par rapport aux poteaux, aux trois sommets d'un triangle équilatéral de 1 mètre de côté. Ils reposent sur des isolateurs en porcelaine à triple cloche en forme d'ombrelle ayant 24 centimètres de diamètre à la base. Les tiges métalliques scellées dans ces isolateurs sont fixées sur une ossature en forme de T renversé, dont la branche verticale appliquée contre le poteau est maintenue par deux boulons. Un isolateur est fixé sur l'extrémité de la branche verticale; les deux autres sont supportés par la branche horizontale.

Mesures de sécurité. — La partie inférieure de cette ossature porte deux bras parallèles à la direction de la ligne, destinés à recevoir deux fils de fer tendus perpendiculairement à la ligne et disposés à 0 m. 500 de chaque côté du poteau. Ces fils de fer constituent un filet partiel destiné à assurer la mise à la terre des fils de la ligne en cas de rupture de l'un d'eux. De plus, des montants verticaux placés aux extrémités de la traverse de support des cloches inférieures s'opposent à la chute des conducteurs sur le sol, dans le cas où, une ligature venant à céder, ils échapperaient des isolateurs.

Toute la charpente métallique formant paratonnerre pour le poteau est mise à la terre par un fil de fer de 6 millimètres relié à une plaque de métal de 0,25 m², noyée de 1 mètre dans le sol.

Dans la traversée des lieux habités et au droit des maisons rencontrées sur les routes, le dispositif de protection est complété par l'adjonction d'un filet continu tendu sous la ligne. Ce filet, mis à la terre à ses extrémités par l'intermédiaire des armatures sur lesquelles il s'attache, se compose de fils de fer disposés en forme de cuve et réunis transversalement par des fils de même diamètre. Ils sont fixés à leurs extrémités sur la traverse inférieure de l'armature.

Chaque poteau porte en outre une garde en ronce artificielle à 2 mètres au-dessus du sol; de plus, ils est muni d'un écriteau avertissant le public du danger qu'il y a de toucher aux fils, même quand ils sont à terre.

Parafoudres. — A l'entrée et à la sortie de chaque village et dans le parcours, à des distances d'environ 2 kilomètres, sont prévus des parafoudres reliés successivement aux trois conducteurs de la ligne.

Ces parafoudres, du type Siemens, sont montés sur des isolateurs du même type que ceux de la ligne et situés à une hauteur permettant aux parties sous tension de rester hors des atteintes des passants. Ces parafoudres sont placés au sommet des poteaux, et le type courant n'a été modifié que par l'adjonction à la partie supérieure d'une pièce spéciale en forme de T. Sur la branche du T parallèle à la ligne sont fixées les cloches supportant le parafoudre : l'un des pôles est relié à l'un des fils de la ligne, l'autre est relié à l'armature métallique et mis ainsi en communication avec le sol.

Les plaques de terre des poteaux portant des parafoudres sont noyées dans une couche de charbon de bois pour assurer une bonne mise à la terre.

Interrupteurs. — Afin de permettre l'isolement complet d'un tronçon de ligne en cas d'accident, et pour faciliter le contrôle, la ligne est divisée en sections d'environ 5 kilomètres par des postes d'interrupteurs. Ces appareils, montés sur des isolateurs du même type que ceux de la ligne, sont disposés de telle sorte que l'interruption se fasse rapidement et que l'extinction de l'arc s'effectue d'une manière sûre. Un modèle de ces interrupteurs, dont le bâti a dû être modifié pour permettre de l'intercaler dans la ligne aérienne, est exposé par la Compagnie générale d'Électricité de Creil, chargée de leur construction.

De part et d'autre des interrupteurs, la ligne est arrêtée et les poteaux, espacés de 2,5 m., qui encadrent ces appareils, portent des cloches d'arrêt. Les conducteurs sont fixés sur ces isolateurs par l'intermédiaire de colliers spéciaux en bronze, qui sont reliés par un fil souple aux phases de l'interrupteur. L'appareil repose sur deux pièces en bois disposées parallèlement à la direction de la ligne et boulonnés sur les branches inférieures des armatures fixées sur les poteaux. Il se manœuvre du sol à l'aide d'un levier disposé à poste fixe. Ce levier, parfaitement isolé des parties sous tension, permet de couper les trois phases simultanément. La poignée de ce levier est enfermée dans une boîte métallique mise à la terre. Cette boîte, fixée au poteau et soigneusement fermée, est disposée de telle sorte qu'on ne puisse manœuvrer le levier qu'après que la porte a été ouverte.

Téléphone. — L'istallation est complétée par une ligne téléphonique placée sur les mêmes poteaux que les conducteurs électriques et reliant les points extrêmes de la ligne. Sur cette ligne téléphonique, des postes intermédiaires sont prévus afin que les cantonniers chargés de la surveillance et de l'entretien puissent communiquer constamment entre eux et avec l'usine. Afin d'éviter les accidents qui se produiraient si un conducteur électrique venait en contact avec un des fils de la ligne téléphonique, outre que les appareils employés ne présenteront aucune pièce métallique apparente, il est prévu, sur les dérivations aboutissant à chaque appareil, des coupe-circuits mis à la terre, assurant la protection absolue des personnes employant les appareils.

Installations suisses. — La Suisse a eu l'heureuse idée de remplir le salon d'honneur qui lui était réservé, au premier étage du *Palais de l'Électricité,* en y réunissant une magnifique collection de dessins à grande échelle montrant, sous une forme instructive

et frappante, les progrès et la diversité des installations électriques de ce pays. M. le professeur F. Prasil, de l'École polytechnique, s'était chargé de la direction des travaux relatifs aux installations hydrauliques; M. le professeur Stadola, de ce qui est relatif aux usines à vapeur, et M. le professeur Wyssling de la partie électrique, ainsi que des dispositions de l'Exposition en particulier. M. E. Mayer, architecte à Paris, sut donner à l'ensemble un cadre décoratif très frappant.

Les établissements suivants étaient représentés sur 14 grands panneaux :

Usines électriques des villes de Zurich, Genève, Rheinfelden (pour la partie suisse). Hagueneck, Rathausen, la Kander, Berne et le chemin de fer électrique Berthoud-Thoune; installation électrique du chemin de fer de la Jungfrau; usine électrique des Clées près Yverdon; usine électrique de Combe-Garot et autre de la Chaux-de-Fonds et du Locle; usine électrique Waser-Höngg.

Autour de chaque ou de plusieurs coupes principales, coloriées et exécutées à grande échelle, des usines en question, avec tous leurs détails de construction, étaient groupés les plans explicatifs ayant trait aux divisions et à la répartition, les plans des conduites dressés sur une échelle uniforme, les schémas de distribution, ainsi que de nombreuses vues, considérablement agrandies par la photographie. On a voulu par là fournir une reproduction aussi complète et harmonique que possible des stations typiques. On avait joint un certain nombre de vue d'autres usines connexes, ainsi que des reliefs d'installations hydrauliques pour forces motrices, telles que les turbines et générateurs électriques de la ville de Genève.

Une carte Dufour de la Suisse, établie au point de vue électrique par M. le professeur Wyssling, occupant le centre, avait pour but d'illustrer l'extension que cette industrie a prise en Suisse.

L'ensemble couvrait environ 250 mètres carrés de la superficie murale employée et comprenait à peu près 250 dessins et agrandissements photographiques. Les maisons suivantes y avaient participé et partagèrent les frais en commun avec le Commissariat général, tandis que la ville de Genève avait pris elle-même à sa charge l'établissement de ses propres reliefs :

Bell et Cie, Kriens; Brown, Boveri et Cie, Baden; Compagnie de l'Industrie électrique, Genève; Escher Wyss et Cie, Zurich; Sulzer frères, Winterthur; Fabrique de locomotives, Winterthur; Fabrique de machines, Oerlikon; Picard-Pictet et Cie, Genève; Rieter et Cie, Winterthur.

B. — TRANSPORT PAR COURANT CONTINU À INTENSITÉ CONSTANTE.

C'est en mai 1890 que le système de transport et de distribution en série a été appliqué pour la première fois par M. René Thury, de Genève, à Gênes, sur un circuit de 48 kilomètres de développement et pour une puissance de 110 kilowatts. Depuis, le système s'est développé, et un grand nombre d'installations existent actuellement en Suisse, en France et en Italie; mais, et c'est là un fait digne de remarque, il n'existe

qu'une seule société, la Compagnie de l'Industrie électrique, de Genève, qui exploite ce système.

Principe. — La distribution, dans le système série, est formée d'un circuit fermé parcouru par un courant continu d'intensité constante, dans lequel les génératrices qui produisent l'énergie électrique sont intercalées avec les moteurs qui l'utilisent, la différence de potentiel produite variant proportionnellement à la puissance utilisée.

Dans la marche à vide, le courant d'intensité constante a comme différence de potentiel la tension nécessaire pour vaincre la résistance du circuit lui-même (dont tous les moteurs sont alors exclus); cette différence de potentiel augmente avec le nombre et la charge des moteurs mis en circuit. Les génératrices ont ainsi à fournir un courant d'intensité constante et une tension proportionnelle à la puissance à transmettre. La station génératrice effectue le réglage des dynamos, de manière à maintenir l'intensité du courant constante dans la ligne, quelle que soit la différence de potentiel absorbée par les appareils d'utilisation.

Pour que les moteurs puissent fonctionner pratiquement, au moyen d'un courant d'intensité constante, l'unique condition à réaliser est que la constance de leur vitesse soit maintenue automatiquement, d'une manière indépendante des variations de puissance, c'est-à-dire qu'ils soient disposés de telle sorte que la différence de potentiel entre bornes varie proportionnellement à la puissance à fournir.

Les deux particularités de la distribution en série sont le réglage du courant primaire et celui de la vitesse des moteurs.

Les moteurs à intensité constante ont, par eux-mêmes, une marche instable et ne peuvent être utilisés sans réglage qu'à un nombre d'applications limité, dans lesquelles ils ont à vaincre un couple résistant constant ou croissant avec la vitesse : ventilateurs, pompes à piston, pompes centrifuges, dynamos pour éclairage public à intensité constante, etc. Lorsque le couple résistant est variable, la vitesse peut être maintenue constante, mais il faut alors recourir à des dispositions de réglage automatique.

Réglage de l'intensité constante du courant primaire. — En pratique, le réglage des génératrices peut s'opérer de deux manières différentes, suivant que les moteurs qui actionnent les génératrices doivent nécessairement fonctionner à vitesse constante ou que leur vitesse peut sans inconvénient être variable.

A. *Génératrices actionnées à vitesse constante.* — Le réglage des machines génératrices actionnées à vitesse constante peut s'opérer par variations du champ; variations qui peuvent se produire, avec une génératice à excitation indépendante, par les variations convenables du courant d'excitation, ou, pour des machines génératrices auto-excitatrices, par le réglage du champ au moyen de rhéostats shunt.

Si les machines génératrices sont à excitation indépendante, le réglage consiste à varier automatiquement leur excitation de manière à faire monter ou baisser la tension dans la proportion voulue. Le service est assuré alors par une ou plusieurs excitatrices,

commandées par des moteurs spéciaux, dont un régulateur automatique d'intensité provoque les variations de puissance nécessaires au réglage.

Une autre disposition consiste dans un réglage combiné, permettant le réglage indépendant et direct de chacune des unités génératrices, qui agit à la fois ou séparément sur le champ magnétique et sur le calage des balais.

B. *Génératrices actionnées à vitesse variable.* — Régler l'intensité constante du courant primaire, lorsque les moteurs qui actionnent les génératrices peuvent marcher à vitesse variable, constitue la solution la plus simple et la plus généralement employée. On est dispensé alors de toute espèce de réglage électrique; les rhéostats et les excitatrices sont supprimés, et les génératrices série subsistent seules, sans autre appareil de manœuvre qu'un simple interrupteur de court circuit.

On réalise ce réglage à la main ou automatiquement.

Réglage à main. — Le réglage à main suffit souvent, car, en réalité, il se produit un auto-réglage qui diminue beaucoup la surveillance. En effet, le couple résistant d'une dynamo excitée en série croît plus vite que le courant produit, parce que le champ inducteur se renforce ou s'affaiblit avec le courant. Si le circuit magnétique est peu saturé, ce couple croît sensiblement comme le carré du courant.

Lorsqu'une génératrice est actionnée par une machine à vapeur marchant sans réglage, c'est-à-dire à pression et détente constantes, le couple moteur de cette machine est constant et indépendant de la vitesse, le courant produit par la dynamo actionnée sera donc forcément d'intensité constante.

Lorsque cette intensité tend à augmenter, le couple résistant augmente de même et la machine à vapeur, n'étant pas réglée, ralentit jusqu'au point où l'intensité aura repris sa valeur normale, avec une tension plus faible. L'inverse se produit si l'intensité tend à faiblir : la machine à vapeur augmente de vitesse; le courant reprend dès lors en peu de temps son intensité normale, avec une tension plus élevée. La dépense de vapeur sera dès lors proportionnelle à la puissance extérieure fournie, et la marche sera des plus économiques, puisque la détente sera constante à toutes les charges.

Les conditions sont les mêmes pour les turbines, avec cette différence toutefois que le réglage est moins précis, puisque le couple moteur d'une turbine varie avec sa vitesse. Mais, grâce au fait que le couple résistant croît beaucoup plus vite que l'intensité, le réglage approximatif ainsi obtenu suffit le plus souvent, et l'on ne règle à la main que lorsque les variations dépassent certaines limites.

Réglage automatique. — Dans certains cas, pour éviter la nécessité d'une surveillance continuelle, un réglage automatique est motivé; il peut être réalisé de deux manières différentes :

1° Réglage simultané ou indépendant de plusieurs unités par un régulateur unique;

2° Réglage individuel de chaque unité par autant de régulateurs qu'il y a d'unités régulatrices.

En principe, dans ces deux cas, les turbines ou moteurs sont pourvus de leurs

organes normaux nécessaires au réglage automatique de la vitesse, sauf le pendule-tachymètre, dont l'action est remplacée par celle du régulateur électrique.

Les génératrices sont dans tous les cas auto-excitées en série, ce qui permet un calage fixe des balais et un fonctionnement absolument irréprochable des collecteurs.

Réglage des moteurs. — A l'arrêt, un moteur est toujours maintenu en court circuit par son interrupteur. Pour sa mise en marche il suffit d'ouvrir l'interrupteur. Le courant traverse le moteur, dont la force contre-électromotrice s'élève peu à peu, proportionnellement à l'accélération. Un volant empêche le démarrage trop brusque et facilite l'action du régulateur de vitesse.

Normalement l'arrêt d'un moteur de faible importance se fait en court-circuitant le moteur par son interrupteur. Les moteurs puissants peuvent s'arrêter de même, mais pratiquement on préfère shunter graduellement le champ jusqu'à zéro, par le régulateur de vitesse. La force contre-électromotrice du moteur s'abaisse ainsi peu à peu, et lorsque le voltmètre accuse un abaissement suffisant, on ferme l'interrupteur. La possibilité d'un à-coup sur la ligne est ainsi évitée. Le réglage de la vitesse peut s'obtenir pratiquement de trois manières principales, applicables suivant la puissance du moteur et ses conditions de fonctionnement :

1° *Par le réglage du champ,* au moyen de résistance shunt, ou par un déplacement de la ligne des pôles, schéma de l'anneau Gramme. Ces deux moyens de réglage ont été adoptés dès le début pour les moteurs de la distribution de Gênes;

2° *Par déplacement des balais,* système combiné parfois avec le premier, utilisé dans ces conditions pour les moteurs principaux de la distribution de la Chaux-de-Fonds et du Locle;

3° *Par le montage de couples secondaires en dérivation sur les balais,* système qui n'exige pas de réglage automatique.

Réglage par décalage du champ. — Le réglage par décalage du champ a été adopté pour la plupart des moteurs faisant partie de l'installation de Gênes, dont la puissance est supérieure à 25 chevaux.

Le courant se bifurque en deux séries parallèles, subdivisées elles-mêmes en sections réunies entre elles, qui aboutissent à un collecteur sur lequel glissent deux contacts actionnés par le régulateur de vitesse. A une position déterminée, correspond le maximum de puissance du moteur; dans la position opposée, le courant circule en sens normal dans la moitié des spires; en sens inverse dans l'autre moitié; il en résulte donc l'annulation complète du champ correspondant à la marche à blanc; entre ces deux positions extrêmes on admet un certain nombre de positions intermédiaires.

Le régulateur est ordinairement établi pour permettre le fonctionnement du moteur seulement en charge; on peut cependant, par ce procédé, produire l'inversion totale du champ et, par conséquent, le renversement du sens de rotation du moteur ou sa marche en frein.

Réglage par shuntage de l'inducteur. — Le réglage par résistance shunt est le plus employé, mais il ne peut s'appliquer avantageusement à ces moteurs de plus de 60 à 100 chevaux, à cause de l'entretien du collecteur, et cela spécialement lorsque les moteurs sont appelés à fonctionner souvent à vide.

Cette difficulté d'entretien n'existe pas pour les petits moteurs, parce que les différences de forces électromotrices entre les sections du collecteur sont négligeables. Le réglage s'opère alors par un shuntage automatique des inducteurs, qui proportionne le couple moteur au couple résistant. Une marge suffisante dans l'excitation permet aux moteurs de vaincre les à-coups momentanés.

Les moteurs ont leur armature toujours traversée par le courant total. L'inducteur, shunté par une résistance variable, n'est traversé que par le courant d'excitation nécessaire pour la production du champ correspondant à la puissance du moteur.

Pour la marche à blanc, l'inducteur est shunté par un court-circuit complet. L'induction est presque nulle, et la tension absorbée est celle nécessaire pour vaincre la résistance ohmique de l'armature qui s'ajoute aux pertes par frottement des coussinets et par la résistance de l'air. La dépense par hystérésis et courants de Foucault est alors négligeable, à cause de l'extrême faiblesse du champ qui n'absorbe aucun travail. Le rendement du moteur reste ainsi toujours élevé et insensiblement le même à toutes les allures.

Aussitôt que l'on charge le moteur, le régulateur proportionne le courant d'excitation au couple moteur; la dépense d'excitation augmente, ainsi que les pertes par hystérésis et courant parasites. Ce genre de réglage présente une difficulté, identiquement la même que celle que l'on éprouve dans le réglage de turbines installées à l'extrémité de longues conduites. L'inertie de l'inducteur, comme celle de l'eau dans la conduite, cause un retard d'action qui tend à provoquer l'amorçage des périodes, c'est-à-dire de successions ininterrompues d'augmentation et de ralentissement de la vitesse. Cette difficulté a été levée par l'adoption d'un dispositif spécial, appliqué à l'asservissement du régulateur suffisamment élevé, mais seulement momentanément.

Shuntage des inducteurs combiné avec décalage des balais. — Ce mode de réglage s'applique surtout aux moteurs d'une puissance supérieure à 100 chevaux; son fonctionnement est irréprochable à vide, comme à pleine charge. La combinaison du décalage des balais avec le réglage des résistances shunt permet d'utiliser la pleine capacité des dynamos et leur donne l'élasticité nécessaire pour franchir les coups de collier sans ralentissement.

Le réglage automatique est obtenu par un tachymètre, système Thury, agissant sur un double encliquetage qui commande le curseur du rhéostat shunt et en même temps le plateau porte-balais.

Lorsque le décalage des balais produit par le régulateur correspond à la position normale de pleine charge, il s'arrête, et le réglage s'achève par le curseur du rhéostat seul qui n'agit que lors des coups de collier pour permettre la surexcitation de l'inducteur.

Réglage par couples secondaires. — Ce troisième mode de réglage ne peut être utilisé que pour de très petits moteurs, pour lesquels il est économique et avantageux.

Le moteur est excité entièrement en série par ligne, ou mieux, pourvu de l'excitation compound; la batterie, branchée en dérivation sur les balais, limite la force électromotrice à celle qu'elle peut opposer elle-même. Lorsque le moteur fonctionne à faible charge, sa vitesse croît dans une certaine mesure; l'excitation dérivée augmente ainsi que la force électromotrice aux bornes du moteur. La batterie se charge alors par l'excès du courant disponible, et ce courant, accumulé, peut être utilisé en cas de coup de collier.

L'abonné qui a besoin d'une puissance moyenne de 4 kilowatts, par exemple, mais qui possède des outils absorbant momentanément le double ou le triple de cette puissance, peut se munir d'un moteur de 8 ou 12 kilowatts et ne s'abonner que pour 4 seulement. L'entreprise sera de son côté assurée que la puissance maxima empruntée à la ligne et à laquelle l'abonné a droit ne sera jamais dépassée.

La Compagnie « l'Industrie électrique », de Genève, exposait une dynamo et un moteur et les différents accessoires relatifs à ce mode de transport, dont elle a réalisé un grand nombre d'applications en Suisse et en Italie.

CANALISATION ET APPAREILLAGE.

Ce rapport ne peut donner qu'une idée bien incomplète des progrès réalisés, depuis 1889, dans la production et l'utilisation mécaniques de l'énergie électrique et des innombrables applications qu'elle a reçues dans toutes les branches de l'activité humaine. Nous avons dû passer sous silence un grand nombre de dispositifs secondaires en apparence, mais essentiels cependant au bon fonctionnement des appareils électriques.

La *canalisation* de l'énergie électrique, qui se faisait, jusqu'à ce jour, exclusivement en cuivre dur ou en bronze phosphoreux ou silicieux, a trouvé dans l'aluminium un succédané sérieux, surtout en Amérique, où l'on ne compte plus les installations de transport à grande distance établies avec ce dernier métal.

Les *isolateurs* des lignes aériennes ont fait aussi de grands progrès : ils s'établissent couramment aujourd'hui pour des tensions de 20 000 et même 30 000 volts. Le verre et la porcelaine constituent les deux produits concurrents pour ces applications.

Des progrès non moins importants ont été réalisés dans les *parafoudres* destinés à protéger les longues lignes aériennes et les appareils auxquels elles sont reliées contre le feu du ciel.

Les *canalisations souterraines* ont été l'objet de nombreuses études et de nombreux perfectionnements. Le caoutchouc, dont le prix est prohibitif, a fait place, le plus souvent, à d'autres isolants, tels que le papier comprimé, et un grand nombre de *compositions spéciales* dont chaque fabricant garde le secret avec un soin jaloux.

Les matières isolantes, sans lesquelles l'appareillage électrique ne saurait exister, se sont aussi considérablement développées, en nombre et en qualité, depuis 1889. Le bois, trop combustible, disparaît complètement des tableaux et des appareils. Au marbre, à l'ardoise, à l'ébonite, à la fibre, à l'amiante et au mica, sont venus s'ajouter la *micanite*, l'*ambroïne*, l'*ivorine*, l'*éburine*, la *stabilite*, l'*ariston*, l'*amiante vulcanisée*, l'*opaline*, le *carton durci et laqué*, etc. Chacun de ces produits présente des qualités spéciales qui en dictent l'emploi dans chaque application particulière.

En ce qui concerne l'*appareillage*, il serait impossible de tenter même la simple énumération des dispositifs simples, pratiques et ingénieux créés depuis 1889 et qui figuraient, soit dans les vitrines des constructeurs, soit en service : interrupteurs, coupe-circuits, disjoncteurs, appareils de contrôle et de sécurité, réducteurs d'accumulateurs, appareils de mise en marche de moteurs, démarreurs, rhéostats, etc. Chacun de ces organes demanderait une étude spéciale, et leur description actuelle ne présenterait qu'un intérêt secondaire, car leurs formes et leurs dispositions se modifient sans cesse pour satisfaire aux exigences toujours croissantes des applications nouvelles.

CONCLUSION.

La Classe 23 est, sans contredit, celle dans laquelle les progrès réalisés depuis 1889 ont été les plus rapides, les plus nombreux et les plus importants; mais, malgré la démonstration grandiose de ces progrès que constitue l'Exposition de 1900, celle-ci ne saurait en donner une idée juste et complète.

Quatre nations seulement : l'Allemagne, la Belgique, la Suisse et la France, ont véritablement montré toute la puissance industrielle dont elles étaient capables. La guerre du Transvaal, pour la Grande-Bretagne, la distance et le naufrage du *Paulliac*, pour les États-Unis, ont contribué à ne nous donner qu'une idée insuffisante du développement de l'industrie électrique de ces deux pays. Nous rendrons enfin un dernier hommage à la vérité, en justifiant certaines abstentions par le fait que beaucoup de maisons étrangères, parmi les plus importantes, ont créé en France de véritables filiales qui constituent par leurs études, leur matériel et même aussi, en partie, leur personnel, une véritable importation, rendant presque inutiles les dépenses importantes auxquelles entraîne forcément une exposition universelle internationale.

Quant à chercher à établir une supériorité quelconque du matériel électrique d'une nation sur celui d'une autre, ce serait entreprendre de résoudre un problème sans solution. Avec les facilités d'échange, de relations et de communications actuelles, tout progrès acquis dans un pays ne tarde pas à faire son apparition dans un autre; les types ont une tendance générale à s'uniformiser, et dans quelques années l'unification sera presque accomplie, sous réserve des nouvelles découvertes que nous réserve le XXe siècle, et qui en feront le véritable SIÈCLE DE L'ÉLECTRICITÉ!

CLASSE 24

Électro-chimie

RAPPORT DU JURY INTERNATIONAL

PAR

M. HENRI BECQUEREL

MEMBRE DE L'INSTITUT
INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES
PROFESSEUR AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE ET À L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

IMPRIMERIE NATIONALE

C. F. E.

COMPOSITION DU JURY.

BUREAU.

MM. Moissan (Henri), membre de l'Institut et de l'Académie de médecine (jury, Paris 1889; président des comités, Paris 1900), *président*..... France.

Ostheimer (Georges R.), machines-outils, *vice-président*..... États-Unis.

Becquerel (Henri), membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle et à l'École polytechnique (Jury, Paris 1889; comités, Paris 1900), *rapporteur*..... France.

Etard (Alexandre), professeur à l'École de physique et de chimie de la Ville de Paris, examinateur de sortie à l'École polytechnique (comité d'installation, Paris 1900), *secrétaire*..... France.

JURÉS TITULAIRES FRANÇAIS.

MM. Bancelin (Edme), administrateur délégué de la Société française de l'accumulateur Tudor (comité d'installation, Paris 1900)..... France.

Bouty (Edmond), professeur à la Faculté des sciences de Paris (comité d'admission, Paris 1900)..... France.

Léonino (le baron Emmanuel), ingénieur civil des mines, administrateur de la Société du travail électrique des métaux..... France.

JURÉ TITULAIRE ÉTRANGER.

M. Mourlon (Charles), ingénieur électricien, à Bruxelles..... Belgique.

JURÉ SUPPLÉANT FRANÇAIS.

M. Street (Charles), ingénieur des arts et manufactures, ingénieur-conseil de la société «Le Carbone» (comité d'admission, Paris 1900)..... France.

JURÉ SUPPLÉANT ÉTRANGER.

M. Borchers, professeur à l'École supérieure technique, à Aix-la-Chapelle..... Allemagne.

ÉLECTRO-CHIMIE.

I

HISTORIQUE.

L'Exposition universelle de 1900 est la première où les produits électro-chimiques aient été réunis dans une classe spéciale. Ce groupement nouveau constitue l'un des témoignages les plus évidents de l'importance des progrès accomplis aujourd'hui dans cette branche de l'industrie.

Au moment de rappeler dans ce rapport les récompenses décernées aux efforts tentés, aux difficultés vaincues, aux conquêtes réalisées, avant de donner aux pionniers du progrès un tribut d'éloges mérités, il a semblé au rapporteur qu'il serait injuste d'oublier les précurseurs, ceux qui ont fondé les assises sur lesquelles s'est édifiée l'industrie électrique moderne, et qui, toujours désintéressés, n'ont ambitionné d'autre récompense que la survivance de leur nom.

Nous retracerons donc brièvement l'histoire de recherches poursuivies patiemment dans les laboratoires pendant plus d'un siècle avant d'aboutir aux résultats considérables dont l'exposition de la Classe 24 nous donne un tableau presque complet.

Une telle revue rétrospective est toujours un enseignement précieux.

Les premières observations de phénomènes électro-chimiques datent du milieu du XVIIIe siècle; antérieures à la découverte de la pile, elles se rapportent aux effets de l'électricité statique. Les plus anciennes expériences paraissent être celles de Beccaria, que Priestley décrit dans son *Histoire de l'Électricité* (1770). Beccaria, au moyen de l'étincelle électrique, avait revivifié les métaux de leurs oxydes et obtenu dans l'eau le dégagement de bulles gazeuses. Quelques années plus tard, en 1781, Cavendish réalisait, au moyen des étincelles, la synthèse de l'eau et la combinaison des gaz de l'air. A la même époque, Volta créait l'eudiomètre, et van Marum signalait autour des machines électriques l'odeur du corps auquel Schœnbein donnera plus tard le nom d'ozone.

En cette même année, 1781, Lavoisier et Laplace annoncèrent que les actions chimiques donnaient lieu à un dégagement d'électricité; leurs expériences reprises par Volta, puis par de Saussure ne conduisirent pas directement aux progrès considérables qu'elles auraient dû provoquer. Il s'écoula près de vingt ans encore avant que, dans la voie indirecte ouverte par Galvani, Volta obtînt le premier courant électrique. On sait comment Galvani découvrit les contractions musculaires d'une grenouille par le contact des filets nerveux et des métaux, observation déjà faite cent trente-deux ans auparavant

C. F. E.

par Swammerdam, mais tombée dans l'oubli. On connaît les discussions célèbres qui s'élevèrent autour de l'expérience de Galvani, les luttes entre la théorie du contact, de Volta, celle de l'électricité animale, imaginée par Galvani, et la théorie chimique, soutenue en particulier par Fabroni; toutes ces discussions, dont quelques-unes devaient être fécondes, s'arrêtèrent un instant devant la découverte de la pile, qui apportait avec elle tout un ordre nouveau de phénomènes.

A la même époque, Coulomb, dans d'admirables séries d'expériences, avait donné les lois de l'électricité statique et du magnétisme.

Avec la pile, l'électricité entre dans une ère nouvelle. L'annonce de la découverte de Volta fut faite au commencement de l'année 1800, et aussitôt Carlisle et Nicholson décomposent l'eau (1800), Thénard et Hachette montrent qu'un courant peut maintenir un fil de platine à l'incandescence (1801), et Davy fait voir qu'avec deux métaux, le fer et le cuivre, le sens du courant dépend du liquide qui attaque l'un ou l'autre métal; Gautherot (1801) et Ritter (1803) construisent des piles secondaires qui, soixante ans plus tard, dans les mains de Planté, deviendront nos accumulateurs actuels.

Citons encore les expériences de Bucholz sur les actions chimiques de dissolutions salines d'inégales densités, puis la construction des piles sèches par Deluc d'abord, et ensuite par Zamboni.

Toute cette première période de découvertes est dominée par les expériences mémorables qui illustrèrent le nom d'Humphry Davy. Dès 1800, Davy avait annoncé qu'en amenant un courant par deux fils d'or, dans de l'eau contenant des matières animales ou végétales, il se produisait, du côté positif, du chlorure d'or; ce fut le début d'expériences où, opérant avec une pile à large surface, comme l'avaient indiqué Fourcroy, Vauquelin et Thénard, Davy fut conduit à reconnaître la décomposition des alcalis par le courant et à réaliser la séparation du potassium et du sodium. Après divers essais, il employait le mercure pour recueillir les métaux qui s'oxydent à l'air, lorsqu'il apprit que Berzélius était parvenu à décomposer la baryte et la chaux en les électrisant négativement au contact du mercure (1808). Davy obtint alors facilement les amalgames de métaux alcalins qu'il isola. Le potassium lui servit pour décomposer les oxydes plus réfractaires : l'alumine, la silice, la zircone, la glucine. En 1808, Seebeck, avec le sel ammoniac, avait obtenu l'amalgame d'ammonium.

Davy, en 1813, avait encore produit l'arc électrique entre deux charbons, dans le vide, et, à la même époque, Gay-Lussac et Thénard, opérant avec la grande pile de l'École polytechnique, avaient réalisé l'emploi du premier voltamètre et la première mesure de l'intensité d'un courant, en prenant pour mesure de l'énergie chimique la quantité de gaz formée par la décomposition de l'eau.

En 1820, une nouvelle découverte ouvre aux recherches électriques la voie d'où elles ne sortiront plus. OErsted, après de longs tâtonnements, met en évidence l'action d'un courant sur une aiguille aimantée; aussitôt, et en l'espace de quelques mois, Biot et Savart donnent les lois du phénomène, Arago et Ampère montrent l'aimantation par les courants, et Ampère crée l'électro-dynamique et l'électro-magnétisme.

Ces études mettaient dans les mains des physiciens un instrument nouveau, le galvanomètre; dès 1821, Seebeck découvrait les courants thermo-électriques dont A.-C. Becquerel donnait les lois (1823-1826).

A partir de 1823, paraît une suite ininterrompue de travaux dans lesquels le même physicien établit les lois générales du dégagement de l'électricité dans les actions chimiques, modifie la théorie de la pile de Volta, et donne l'explication du phénomène de la polarisation étudié en même temps par Ritter (1825), par de la Rive et Matteucci. Au même moment, Pouillet constatait le dégagement d'électricité dans la combustion (1825).

Les travaux de A.-C. Becquerel le conduisent, en 1829, à donner un moyen de supprimer la polarisation dans les piles et à créer des piles à courant constant, formées de deux métaux plongeant dans deux liquides séparés par un diaphragme poreux, piles cloisonnées au nitrate, puis au sulfate de cuivre (1829), reproduites sept ans plus tard par Daniell (1836). Le mémoire de Becquerel contient la théorie de toutes les piles à deux liquides construites depuis; en 1835, il indique l'emploi de l'acide nitrique au pôle positif d'une pile ne comprenant qu'un métal, le platine, et deux liquides, disposition du pôle positif utilisée en 1839 par Grove et en 1843 par Bunsen, qui substitua le charbon au platine. L'amalgamation du zinc dans les piles avait été proposée par Davy, dès 1826; la polarisation par les gaz avait conduit Grove à la construction de la pile à gaz.

A la même époque, Faraday, après avoir retrouvé une partie des faits déjà observés, établit une loi fondamentale de l'électrolyse, celle des décompositions en proportions définies (1833-1834), loi que Matteucci étend aux sels neutres, Daniell aux composés binaires (1839) et dont Ed. Becquerel est conduit à modifier l'énoncé (1844).

En dehors du domaine électro-chimique, Faraday venait de découvrir l'induction (1831). C'était une de ces découvertes qui transforment une science, découverte dont l'importance devait grandir avec les années en présidant aux transformations du mode de production de l'électricité. Les machines d'induction, réalisant une production économique d'électricité, ont seules permis le développement de l'industrie électrique; perfectionnées lentement d'abord, depuis 1832, jusqu'en 1869, elles ne sont entrées dans l'industrie que le jour où Gramme, retrouvant la disposition d'un moteur de Pacinotti (1864), vint donner à la production industrielle de l'électricité une impulsion qui ne s'est pas ralentie.

Le temps est un facteur puissant dans l'élaboration des produits de la nature. Si l'industriel tend de plus en plus à réduire la durée des opérations, le savant a parfois obtenu des résultats importants par la patiente observation de l'intervention du temps.

Dans cet ordre d'idées, nous rappellerons les méthodes au moyen desquelles A.-C. Becquerel, de 1825 à 1878, a pu obtenir à l'état cristallisé un grand nombre de composés minéraux semblables, pour la plupart, aux composés formés par la nature. La faible intensité des courants, empruntés souvent aux réactions chimiques des substances en présence, était une condition favorable à la cristallisation. La découverte, en

1867, des phénomènes électro-chimiques produits dans les espaces capillaires, et les applications de ces phénomènes à la formation d'un grand nombre de composés, ont été le couronnement de recherches poursuivies pendant plus de cinquante ans. En 1836, il avait donné une méthode de traitement électro-chimique des minerais d'argent, de plomb et de cuivre, tentative intéressante pour substituer aux procédés d'amalgamation l'emploi des courants, mais qui ne put se développer par suite de l'insuffisance des moyens pour produire économiquement les courants électriques. Aujourd'hui, cette production économique est réalisée, et l'on reprend le traitement des minerais par les procédés électro-chimiques.

En 1838, Jacobi et Spencer, utilisant les dépôts électro-chimiques de cuivre pour la reproduction des empreintes, découvrent la galvanoplastie; de la Rive perfectionne les anciennes expériences de Brugnatelli (1805) et donne, en 1840, le premier procédé industriel de dorure; peu après Christofle, appliquant les méthodes d'Elkington, ainsi que divers procédés brevetés par de Ruolz, fonde une industrie nouvelle amenée aujourd'hui par ses continuateurs au degré de perfection que l'on connaît.

Citons encore les premiers essais de Nobili pour colorer les métaux par des dépôts de couches minces, les méthodes de A.-C. Becquerel pour recouvrir les métaux d'oxydes protecteurs ou décoratifs (1843), ou celles qu'il a données avec Ed. Becquerel (1862) pour obtenir des dépôts en couches épaisses d'argent, d'or, de platine, de nickel et de cobalt, puis, à partir de 1869, la rapide extension de l'industrie du nickelage fondée sur des procédés qui utilisent ces méthodes.

En dehors de ces applications industrielles de l'électricité, on en trouve d'autres qui restent dans le domaine scientifique et dont quelques-unes se développeront plus tard, telles que les préparations du magnésium (Davy, A.-C. Becquerel, Bunsen), de l'aluminium (A.-C. Becquerel, H. Saint-Claire-Deville), du silicium (A.-C. Becquerel, Golding Bird), et parmi les corps simples, l'isolement du fluor par M. Moissan, en 1886.

L'électrolyse des matières organiques, depuis Davy, a donné lieu à de nombreuses expériences parmi lesquelles nous rappellerons celles de Pelletier et Couerbe, Connel, Kolbe, Würtz, Kekulé, Berthelot, Friedel, expériences qui, parfois, ont fait connaître des composés nouveaux.

Tous ces brillants résultats électro-chimiques, que la théorie du contact eût été impuissante à faire naître, entraînaient la plupart des physiciens bien loin des idées de Volta. Cependant, d'habiles expérimentateurs tels que Pfaff, Fechner, Péclet, pour ne citer que les plus anciens, puis un grand nombre de physiciens modernes ont établi l'existence de forces électromotrices de contact, mais sans démontrer toutefois qu'il n'y ait pas un phénomène chimique concomitant.

Sous l'influence des idées dont l'ensemble a constitué la thermo-dynamique, Helmholtz donne des points de vue nouveaux sur la polarisation; les travaux de Faraday, Joule, Ed. Becquerel, de la Rive, Favre, Berthelot, précisent les conditions de la transformation de l'énergie dans les manifestations calorifiques et électro-chimiques. Neumann, puis Helmholtz, sir W. Thomson (lord Kelvin), Lippmann, établissent les prin-

cipes de la transformation de l'énergie dans les phénomènes électriques, et contribuent puissamment, ainsi que Gibbs, à transformer la science électrique en la rattachant intimement à la thermodynamique. De cette évolution naissent des idées nouvelles, et parmi les théories qui intéressent plus particulièrement l'électro-chimie il convient de mentionner celle des ions, émise par Hittorf dès 1855, développée par des travaux récents parmi lesquels on peut citer ceux de van T'Hoff, Ostwald, Arrhénius, Bouty, Nernst, et dont les applications paraissent devoir être fécondes.

Les étincelles avaient donné les premiers résultats électro-chimiques. Lavoisier les avait employées à la synthèse de l'eau, Schœnbein avait découvert l'ozone formé par leur intervention, gaz étudié en particulier par Ed. Becquerel et Fremy, Soret, Hautefeuille et Chappuis; généralisant l'action de l'effluve sur un très grand nombre de corps M. Berthelot a réalisé, par ce moyen, la fixation de l'azote sur les matières organiques.

Je ne puis omettre, en terminant, un ordre de phénomènes dans lesquels l'action calorifique intervient plutôt que l'action électrique, et qui constitue la chimie des hautes températures. Ce sont les effets produits par l'arc électrique.

Depuis la mémorable expérience de Davy, Despretz avait étudié l'action de ces températures élevées; l'expérience la plus importante faite ensuite avec l'arc a été la synthèse de l'acétylène par M. Berthelot; puis sont venues les recherches fondamentales de M. Moissan sur la cristallisation du diamant, et la formation de composés nouveaux. L'utilisation des hautes températures de l'arc a pris depuis quelques années un développement tellement considérable que les industries qui s'y rattachent forment une des parties les plus importantes de l'exposition de la Classe 24.

Cette énumération rapide est forcément incomplète; elle permet cependant de suivre la marche générale de la science électro-chimique et l'évolution des idées qui, à diverses époques, ont servi à coordonner les phénomènes déjà observés ou à guider dans de nouvelles recherches.

Toutes les applications que nous allons énumérer ont puisé à cette source féconde les principes qu'elles ont pour objet de faire servir à l'amélioration des conditions sociales de la vie.

II

PILES.

On a rappelé plus haut que les piles avaient été les premières sources de courant électrique. Le prix élevé des matières détruites a été pendant longtemps un obstacle au développement industriel des applications des courants, et, aujourd'hui même, dans les laboratoires où depuis un siècle les piles ont été des instruments nécessaires, celles-ci sont généralement remplacées, pour la production des courants qui dépassent quelques ampères, par des accumulateurs associés à une dynamo. Cependant l'emploi des piles s'est conservé dans quelques grandes applications, telles que la télégraphie, la téléphonie, les Compagnies de chemins de fer, pour la production des signaux, et pour les sonneries domestiques. Ces considérations expliquent pourquoi les piles ont tenu une place relativement restreinte dans l'exposition électro-chimique, tant au point de vue de la variété des types que du nombre des exposants, qui a été de vingt. Sur ce nombre le Jury a décerné trois médailles d'or, deux de bronze et quatre mentions.

Les piles exposées reposent toutes sur l'application de principes connus depuis fort longtemps. Des dispositions variées plus ou moins ingénieuses peuvent seules être considérées comme des nouveautés. Parmi les perfectionnements les plus importants au point de vue du développement commercial et de l'extension des applications, il convient de citer l'immobilisation des liquides par des substances spongieuses ou colloïdales (agar-agar, cellulose), immobilisation dont on pourrait faire remonter le premier exemple à la rondelle de drap de la pile de Volta.

Les piles qui dégagent des vapeurs acides ou celles qui contiennent des liquides dangereux à manier ne se sont pas prêtées à des applications industrielles. Dans l'énumération des piles que le Jury a eues à examiner, nous grouperons celles-ci par types.

PILES À SULFATE DE CUIVRE.

De toutes les piles généralement employées, la seule qui fournisse un courant très sensiblement constant est le couple zinc, sulfate de zinc, cuivre, sulfate de cuivre, qui dérive des couples à deux liquides imaginés en 1829 par A.-C. Becquerel, couple dont un modèle industriel a été donné par Daniell en 1836. La constance de cette pile l'a fait employer pendant longtemps par l'Administration des lignes télégraphiques sous la forme imaginée par M. Callaud.

Cette année, un seul modèle a attiré l'attention du Jury, c'est une disposition imaginée par M. Jeanty, et exposée par la Compagnie électro-chimique. La partie originale de cette pile est la disposition de l'électrode positive sous forme de rigoles parallèles,

établies au milieu d'une grande cuve rectangulaire et alternant avec des barres de zinc. Une solution de sulfate de cuivre est maintenue saturée dans les rigoles; le cuivre électrolytique qui s'y dépose peut être facilement enlevé et être utilisé commercialement. Le prix du cuivre vient en déduction, pour une part importante, dans le prix de l'usure de la pile. Dans ces conditions, M. Jeanty estime que l'on peut produire l'énergie électrique à 1 fr. 50 le kilowatt-heure, et que la dépense d'éclairage revient à 0 fr. 05 par lampe de 10 bougies. Quelques installations d'éclairage (435 lampes) et une installation galvanoplastique ont été réalisées avec cette pile. Le Jury a accordé à la Compagnie électro-chimique, tant pour cette pile que pour le reste de son exposition, une médaille de bronze.

PILES AU PEROXYDE DE MANGANÈSE.

Les dépolarisants solides, et en particulier le peroxyde de manganèse, ont été signalés depuis fort longtemps pour la construction de piles; Zamboni avait construit en 1812 des piles sèches fonctionnant par l'action de l'humidité de l'air sur le peroxyde de manganèse. Depuis 1835, les travaux de A.-C. Becquerel, de la Rive, Munk, puis ceux de Schœnbein et de Matteucci montrèrent le rôle que peuvent jouer les peroxydes de manganèse et de plomb. Ces corps, subissant une réduction lente dans le liquide unique de la pile, peuvent servir de dépolarisateurs à l'électrode positive, et en même temps la force électromotrice du couple est augmentée. La dépolarisation est d'autant moins complète que le débit de la pile est plus grand; mais la pile, une fois polarisée, se dépolarise d'elle-même par le repos.

La simplicité du montage, l'absence d'émanations acides, ont fait adopter universellement ce genre de pile lorsque M. Leclanché, en combinant l'action dépolarisante du peroxyde de manganèse avec l'action du chlorhydrate d'ammoniaque sur le zinc, en fit un appareil très pratique.

Pile Leclanché. — L'exposition de la maison Leclanché et Cie a tout particulièrement attiré l'attention du Jury. Le premier élément Leclanché, construit en 1870, se composait d'une baguette de zinc plongeant dans une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque, puis d'un vase poreux qui s'imbibait de la même dissolution, et contenait un prisme de charbon de cornue, entouré de peroxyde de manganèse concassé, mélangé avec une égale quantité de charbon. La maison Leclanché a présenté l'historique des perfectionnements successifs qu'elle a réalisés, piles à plaques agglomérées, piles Leclanché-Barbier à cylindres agglomérés, et enfin, éléments agglomérés à sac qui, sous le même volume que les précédents, contiennent un poids de matière dépolarisante double, et qui, munis d'un zinc circulaire, réalisent une augmentation très notable de débit et de durée.

Parmi les perfectionnements les plus importants, il convient de citer l'introduction dans le liquide excitateur d'une petite quantité de chlorure de zinc, qui permet au zinc de s'user régulièrement en empêchant la formation d'une croûte de zincochloramine.

Ajoutons encore à l'énumération des modèles exposés des piles à liquides immobilisés ou « piles sèches », des éléments spéciaux pour l'automobilisme, des petits éléments dont plus de cent mille sont en service dans diverses industries et administrations pour les mesures d'isolement.

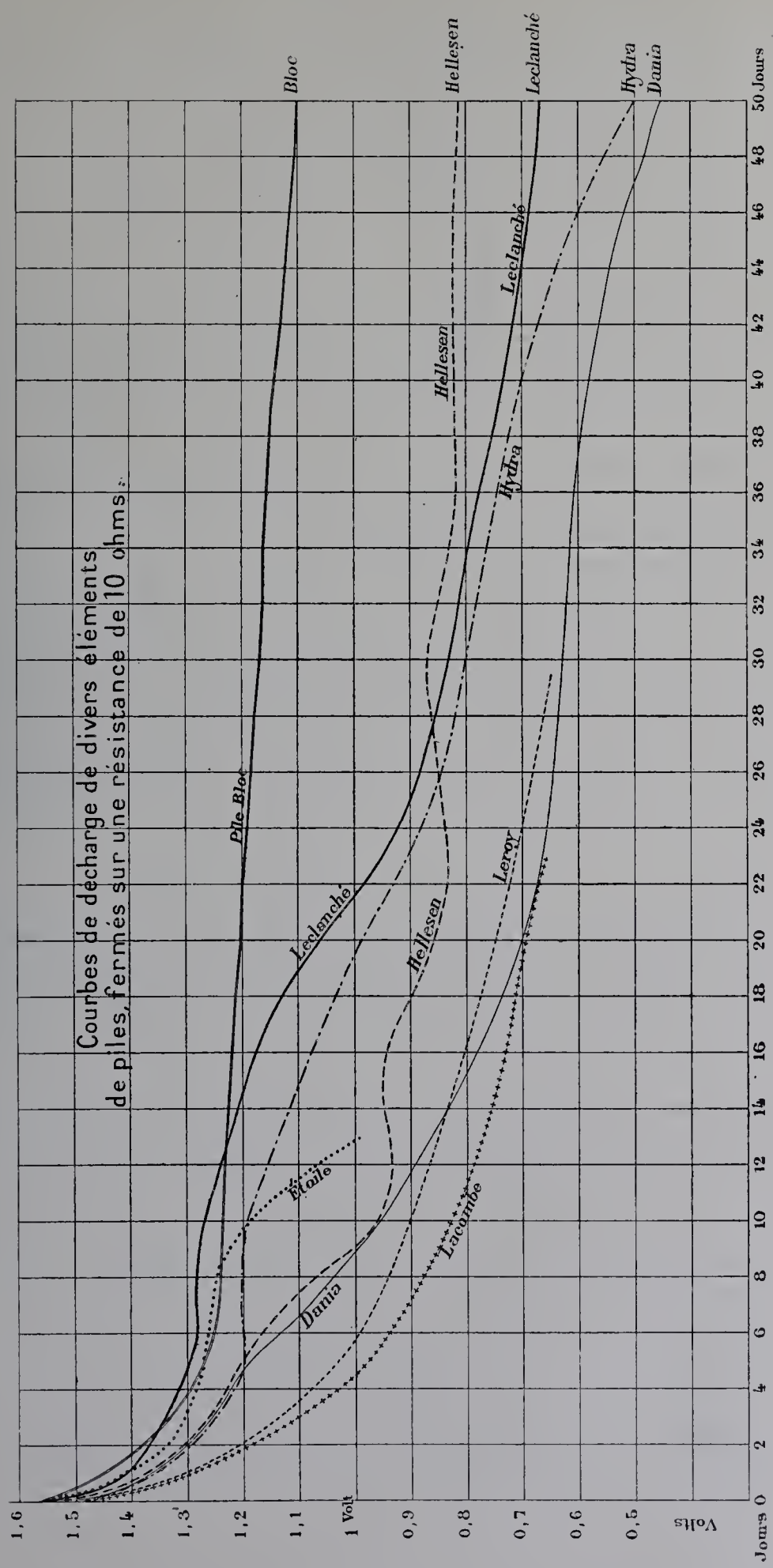
Dès les premières années de l'apparition de la pile Leclanché, celle-ci avait été adoptée par les services télégraphiques des principales puissances, par les Compagnies de chemins de fer pour les signaux et sonneries de toute nature, puis, plus tard, par les Compagnies de téléphones. Cette industrie qui, en 1867, débutait dans un modeste entresol, occupe aujourd'hui, sous la direction de M. Grosjean, une usine couvrant 1,500 mètres de terrain et exportant journellement près de 2,500 éléments dans le monde entier.

En accordant à la maison Leclanché et Cie une médaille d'or, le Jury a voulu récompenser à la fois l'invention première et les efforts persévérants poursuivis pendant trente années pour améliorer cette invention et maintenir constamment la production à la hauteur des derniers progrès accomplis.

Piles sèches. — L'idée d'immobiliser les liquides sans que ceux-ci cessent de dissoudre le zinc et d'exercer leur effet dépolarisant a été un perfectionnement qui a considérablement étendu le champ d'application pratique des piles en en faisant des objets transportables et même complètement étanches; cette dernière qualité a fait donner à cette disposition des piles le nom impropre de « piles sèches », alors que ce sont des piles essentiellement « humides » à l'intérieur. Les « piles sèches » les plus répandues sont des éléments au peroxyde de manganèse, du genre de l'élément Leclanché, avec un liquide salin dissolvant régulièrement le zinc sans formation de croûte solide. Parmi ces éléments, nous avons déjà cité la « pile sèche », construite par la maison Leclanché. Le Jury a, en outre, placé au premier rang la *pile Bloc* et la *pile Hellesen,* à chacune desquelles il a attribué une médaille d'or.

Pile Bloc. — La *pile Bloc*, imaginée par M. P. Germain et exposée par la Société anonyme de la pile Bloc, est une modification de la pile Leclanché. Elle se compose d'une lame de zinc et d'une lame de charbon entourée d'un mélange de peroxyde de manganèse et de charbon. Ces deux lames sont constamment pressées par des ressorts sur un *bloc* de cellulose de noix de coco, imbibée du liquide salin excitateur. Cette cellulose, rendue inaltérable et inattaquable aux réactifs de la pile, est douée d'un pouvoir absorbant considérable et, même sous la forte pression à laquelle elle est soumise, elle peut absorber un volume de liquide sensiblement égal au sien; la propriété d'absorber également les gaz contribue à la dépolarisation de la pile. Le tout est enfermé dans une boîte en bois paraffinée intérieurement et dont les joints sont rendus imperméables par un enduit spécial. Les prises de courant sont constituées par deux bornes placées sur un des côtés de la boîte.

La pression constante des électrodes sur le bloc humide et l'absence d'évaporation assurent à la pile une régularité remarquable. L'emploi de zinc pur rend l'usure nulle en


Courbes de décharge de divers éléments
de piles, fermés sur une résistance de 10 ohms.
Bloc
Hellesen
Leclanché
Hydra
Dania
Pile Bloc
Leclanché
Hellesen
Hydra
Leclanché
Hellesen
Leroy
Étoile
Dania
Lacombe
Volts
Jours
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1 Volt
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
46
48
50 Jours

circuit ouvert. Le graphique de la page précédente donne un exemple de la régularité de la décharge au travers d'une résistance de 10 ohms, pendant 50 jours. Cette même régularité se continue pendant un temps beaucoup plus long. Au travers de 200 ohms, la force électromotrice qui est de 1,6 volt au début tombe à 1 volt au bout de 450 jours. Un élément modèle des postes et télégraphes, déchargé d'une manière continue sur une résistance de 100 ohms, avait encore, au bout de deux ans, une différence de potentiel de 0,19 volt.

La Société de la pile Bloc exposait en outre des éléments de grandes dimensions pouvant fournir des débits considérables. Comme exemples citons un élément de 10 kilogrammes environ, qui, déchargé au régime constant de 25 ampères, tombe de 2 volts à 1,70 volt en quatre heures, et un grand élément dont le poids total était de 90 kilogrammes environ qui, déchargé au même régime de 25 ampères, a subi la même chute de potentiel de 2 volts à 1,70 volt en trente-cinq heures; ce même élément, soumis au régime considérable de 250 ampères, a encore mis deux heures cinquante-deux minutes pour effectuer la même chute de potentiel.

Ces résultats très remarquables montrent tout le parti qu'on peut tirer de ces éléments, soit pour de faibles débits pendant un temps très long, soit pour des débits considérables. Les principales applications actuelles sont : la téléphonie, la télégraphie, les installations diverses de signaux et de sonneries, l'allumage des becs de gaz, l'allumage des moteurs à pétrole et à gaz et ceux des voitures automobiles.

Les éléments à grande capacité peuvent fournir un débit relativement très grand pendant plusieurs années sans entretien ni surveillance. Le graphique déjà mentionné montre que cette pile paraît réaliser les meilleures conditions de construction et de fonctionnement.

La Société de la pile Bloc occupe une centaine d'ouvriers dans une usine de 1,200 mètres de superficie et fabrique 1,000 tonnes de produits par an.

Outre la médaille attribuée à la Société de la pile Bloc, le Jury a décerné une médaille d'or de collaborateur à l'habile ingénieur M. Heurtey qui dirige, en la perfectionnant, la fabrication de l'invention de M. Germain.

Pile Hellesen. — La pile Hellesen, d'invention et de construction danoises, remonte à 1886 et paraît être une des premières piles sèches à longue durée. Elle consiste en un élément Leclanché avec liquide immobilisé par des substances mucilagineuses, additionnées de matières chimiques prévenant les dépôts cristallins, et contenant, en outre, des sels hygroscopiques qui, attirant l'humidité de l'air, compensent le desséchement par évaporisation lente. L'enveloppe de ces éléments est en carton imperméable.

Cette pile paraît très employée en Allemagne, en Angleterre et au Danemark, où l'usine occupe trois cents ouvriers et fabrique annuellement plusieurs myriades d'éléments. Un élément Hellesen, type rectangulaire du poids de 2 kilogr. 75 environ, fermé sur une résistance de 10 ohms, a été comparé à une pile Leclanché à sac pesant environ 3 kilogr. 2. Au début, l'élément s'est montré inférieur à la pile Leclanché, puis

les courbes se sont croisées au bout de vingt-huit jours, et, à partir de ce moment, l'élément Hellesen s'est montré sensiblement constant bien au delà du cinquantième jour.

La Société hors concours *Le Carbone* a exposé divers modèles de piles qui se distinguent par leur construction soignée : piles à vase poreux, dont la fabrication atteint annuellement 100,000 éléments; piles à peroxyde de manganèse, pile Lacombe à vase en charbon et zinc central, pile *Carbone* à vase en charbon, pile sac où le mélange dépolarisant est contenu dans un sac en toile; puis une pile sèche, la pile *Étoile* (brevets Busson), et une pile humide, pile Z, donnant toutes de bons résultats.

Une médaille de bronze a été accordée à la Société électrique Hydra qui construit par an près de 200,000 piles sèches dont le fonctionnement se rapproche de celui de l'élément Leclanché.

Une autre médaille a été décernée à M. Leroy, pour ses piles sèches *Leroy* dont la courbe de décharge est également figurée sur le diagramme de la page 207.

Une mention honorable a été attribuée à la pile *Dania,* exposée par M. Gjerulff, de Copenhague. Cette pile est une pile sèche dont la courbe de décharge figurée sur le diagramme déjà mentionné est moins bonne que celle de la plupart des autres piles dont il a été question.

On peut citer encore les expositions de la Compagnie anglaise Electrical power storage C°, limited, piles sèches Leclanché (brevets Burnley), et des Compagnies américaines Leclanché Battery Company, de New-York, modèles des piles Leclanché, et de la Roach (William) Manufacturing Company (piles sèches).

PILES AU BICHROMATE DE POTASSE.

La force électromotrice relativement grande (1,8 volt à 1,9 volt) de la pile imaginée par Poggendorff a conduit de nombreux inventeurs à rechercher les moyens de l'améliorer sous le rapport de la polarisation, car sa constance laisse beaucoup à désirer. Sans parvenir complètement à rendre cette pile constante, on en a amélioré l'usage soit en renouvelant les liquides d'une manière continue, soit en mélangeant à la dissolution du bichromate de potasse des substances capables d'empêcher les dépôts sur les charbons. Parmi les modifications se rapportant à ce dernier moyen, on peut rappeler le mélange de bichromate de potasse, de sulfate de fer et de sulfate de soude expérimenté par M. Delaurier.

On retrouvait à l'Exposition les piles Delaurier, dans la vitrine de M. Clarenc (Eugène), auquel le Jury a accordé une mention, ainsi que dans celle de M. Guerot, successeur de la maison Delaurier.

PILES DIVERSES.

Parmi les autres piles exposées, on peut donner une mention spéciale à la pile de Lalande et Chaperon, à oxyde de cuivre et dissolution de potasse, qui présente une

très faible résistance et permet des débits considérables atteignant 100 ampères. Ces piles, déjà anciennes, étaient exposées par la maison Digeon. Le Jury a accordé à M. de Lalande une médaille d'argent de collaborateur. Deux autres maisons, américaines toutes deux, exposaient également des piles *de Lalande et Chaperon*, la Gordon battery Company et Edison.

Citons encore l'exposition de M. Trillet, qui expose une pile pour éclairage, et auquel a été accordée une médaille de bronze, puis la pile avec mercure de M. Radiguet, et la pile un peu complexe avec deux vases poreux de M. Bourdin.

III

ACCUMULATEURS.

Les accumulateurs ont remplacé aujourd'hui les piles dans la plupart des applications; ils servent soit de réservoir pour l'électricité produite industriellement par les machines, soit de volant ou de tampon pour la régularisation des débits intermittents.

C'est aux travaux persévérants de Planté que l'on doit cet appareil dont la production est devenue considérable, mais ces travaux avaient été précédés depuis un demi-siècle par des expériences fondamentales.

Gautherot, le premier, en 1801, avait observé le courant secondaire temporaire donné par les fils d'argent et de platine qui avaient servi à décomposer l'eau salée. Ritter, en 1803, après avoir observé le même phénomène, avait construit la première pile secondaire en superposant une série de pièces d'or séparées par des rondelles imbibées d'une dissolution saline, puis il varia ses expériences en employant divers métaux et diverses solutions salines. Ces piles devaient d'abord être chargées par une pile de Volta, puis donnaient un courant inverse de courte durée.

La production du courant secondaire fut expliquée par Volta, par Marianini et par A.-C. Becquerel. Le courant est dû aux dépôts acides et basiques qui se forment sur les disques à la suite de la décomposition produite par le premier courant. De la Rive, en 1826, avait de nouveau rappelé l'attention sur les courants secondaires en étudiant la polarisation par les gaz dans le voltamètre. Matteucci montra que deux lames de platine plongées préalablement dans des gaz différents se comportaient comme des lames polarisées, et Grove fonda sur ce fait une pile à gaz.

A la suite des travaux d'un grand nombre de physiciens sur la polarisation, Planté reprit cette étude et en 1859 fut frappé de l'intensité et de la durée des courants secondaires obtenus par la polarisation du plomb dans l'eau acidulée.

Il démontra que l'accumulation du peroxyde formé au pôle positif augmentait la durée du courant secondaire ; les électrodes furent alors constituées par de larges lames de plomb qui, à mesure qu'elles servaient davantage, devenaient capables de débiter des courants pendant un temps de plus en plus long. Planté eut alors l'idée de *former* les électrodes, en les soumettant à des charges et à des décharges successives et nombreuses. Le plomb, attaqué au pôle positif, puis réduit par l'hydrogène au pôle négatif, devient spongieux et capable d'accumuler beaucoup plus d'oxyde actif; ce fait s'appelle aujourd'hui accumuler de l'électricité; le nom d'accumulateur n'a pas été donné par Planté; il a caractérisé les premiers éléments Faure.

La force électro motrice est légèrement variable; elle atteint 2,6 volts au moment de la charge, tombe ensuite pour rester constante à 2 volts pendant presque tout le débit,

IMPRIMERIE NATIONALE.

puis à la fin descend rapidement, et on arrête généralement le fonctionnement quand le voltage est réduit à 1,8 volt. Planté a décrit les précautions minutieuses qu'il convient de prendre dans ce procédé de formation naturelle auquel on a donné son nom, charges et décharges successives et inverses séparées par des intervalles de repos, puis au bout de plusieurs mois, la pile étant formée, choix définitif d'un sens de charge et de décharge. Dans les premiers temps, Planté chargeait une batterie de plusieurs centaines de petits accumulateurs en les mettant en quantité, et pour cette charge trois couples à sulfate de cuivre ou deux couples Bunsen suffisaient, à la condition de les laisser agir longtemps ; puis, toutes les piles ayant été réunies en tension par un commutateur spécial, on pouvait, en quelques minutes, décharger la batterie qui débitait alors toute la quantité d'électricité accumulée pendant la période précédente. En 1873, il chargea une pile secondaire avec une machine de Gramme. Depuis lors, les accumulateurs sont chargés par des machines, en les groupant de manière que la somme des différents potentiels des groupes soit inférieure à celle de la machine. Planté, en dehors d'expériences très intéressantes et nouvelles sur les décharges de quantité à haut voltage, avait indiqué un certain nombre de petites applications ; il avait même pris en 1868 un brevet pour l'application de ses piles secondaires à l'éclairage électrique, mais cette application ne devint pas pratique avant 1880, époque à laquelle les machines de Gramme et celles qui naquirent alors donnèrent un courant dans des conditions économiques.

La *formation*, d'après la méthode de Planté, est longue et coûteuse ; cette opération nécessaire apparut d'abord comme un obstacle à l'exploitation industrielle, lorsque M. Faure imagina d'y substituer une méthode de formation rapide en déposant sur des lames de plomb des oxydes de ce métal, que la première charge transformait d'un côté en peroxyde, de l'autre en plomb très divisé. Cette disposition donnait de suite aux accumulateurs une grande *capacité*, mais la difficulté de faire adhérer mécaniquement les oxydes aux plaques constitua alors le principal obstacle à surmonter. Faure retenait ces oxydes par une enveloppe inattaquable et perméable, et depuis, tous les perfectionnements apportés aux accumulateurs ont eu pour but d'assurer l'adhérence entre les plaques et les matières rapportées.

La formation Planté, malgré l'inconvénient de la lenteur et du prix, donne des plaques robustes dont les matières actives se détachent moins facilement que pour les plaques formées par les autres procédés ; elle s'impose donc pour les accumulateurs destinés à certains usages, bien qu'elle entraîne avec elle un prix élevé.

La formation Faure donne d'emblée une capacité qui peut être considérable, mais les matières ont toujours tendance à se séparer des plaques et la durée des accumulateurs est moindre.

Dans un grand nombre des accumulateurs industriels, on a combiné les deux systèmes en employant pour chaque électrode un mode de formation différent et approprié au travail qu'elle supporte ; les plaques positives sont alors le plus souvent formées en *Planté* et les plaques négatives, qui ne présentent pas comme les plaques positives un

foisonnement notable, sont couvertes d'oxydes rapportés; leur adhérence est assurée par les procédés les plus variés qui constituent généralement la marque de chaque fabrique.

Dans la description des trente-deux expositions d'accumulateurs qui ont figuré dans la Classe 24, nous diviserons les accumulateurs en trois classes :

1° Accumulateurs genre Planté pur;

2° Accumulateurs à oxydes rapportés sur les deux plaques;

3° Accumulateurs mixtes.

Dans ces dispositions, les supports en plomb qui ne doivent pas subir de déformation par suite de l'attaque par les produits de l'électrolyse de l'eau acidulée sont généralement en plomb antimonié.

Dans certains modèles, à oxydes rapportés sur des supports en plomb pur, ces supports finissent par se former en Planté par l'usage, et se substituent aux matières actives rapportées, prolongeant ainsi la durée des plaques.

L'ensemble des établissements qui ont exposé des accumulateurs représente l'occupation de plus de 37 hectares dont 14 sont couverts; ils emploient 3,600 ouvriers, 6,700 chevaux de force et produisent plus de 3,600 tonnes par an, ce qui représente un produit de 45 millions de francs.

I. ACCUMULATEURS GENRE PLANTÉ.

La Compagnie des accumulateurs électriques Blot, dont l'usine est à Boves (Somme), et le siège social à Paris, exposait les seuls accumulateurs du système Planté pur, que le Jury de la Classe 24 ait eus à examiner. Nous trouverons plus loin d'autres accumulateurs dans la fabrication desquels il n'entre que du plomb pur, sans oxydes, mais le plomb actif est sous forme de matières rapportées bénéficiant des avantages du système Faure, et en ayant également les inconvénients. Nous avons classé ces types parmi les accumulateurs mixtes.

La compagnie Blot était hors concours.

Les plaques du système G.-R. Blot sont constituées essentiellement par un assemblage de *navettes* obtenues en enroulant sur une âme en plomb antimonié un ruban de plomb lisse et un ruban de plomb ondulé superposés. Les navettes ainsi obtenues sont sciées en deux parties par leur milieu. Les demi-navettes sont assemblées dans un cadre en plomb antimonié, en nombre variable, de manière à constituer divers types de plaques. On réserve un certain intervalle entre l'extrémité libre des rubans de plomb et le bord des cadres, de manière à permettre un libre foisonnement.

Les premiers brevets relatifs à cette disposition datent de 1893.

Les plaques positives et négatives sont toutes deux formées en Planté, sans oxydes ni matières rapportées, soit à titre provisoire, soit à titre définitif. La surface que la disposition ci-dessus offre aux dépôts de l'électrolyse est très grande; avec des rubans de 1 millimètre d'épaisseur, une plaque dont la surface active efficace est de 1 mètre carré

pèse 3 kilogrammes. La capacité dépasse 10 ampères-heures par kilogramme au régime de 1 ampère par kilogramme, et elle peut atteindre 14 ampères-heures par kilogramme. De diverses expériences dont les rapports ont été communiqués au Jury, il est résulté que les accumulateurs construits avec des plaques du système Blot se sont montrés exceptionnellement robustes, pouvant supporter des courants de 250 ampères, et supportant également sans détérioration des courts circuits répétés et inégalement prolongés.

Au régime de 1 ampère par kilogramme, le rendement a été voisin de 0,75 en énergie et de 0,90 en quantité. Ces deux rendements sont devenus 0,82 et 0,95 au régime de 1/2 ampère.

Un des perfectionnements les plus importants réalisés depuis le début de la fabrication a été de disposer horizontalement les rubans dans les cadres. Dans l'ancienne disposition, le déplacement latéral des navettes verticales était empêché par des barrettes horizontales. La nouvelle disposition a permis de supprimer ces barrettes et de les remplacer par des séparateurs verticaux qui réduisent l'encombrement. Comme les plaques négatives ne subissent pas de foisonnement, l'âme des navettes qui forment les plaques a pu être supprimée, ce qui réduit encore le poids par rapport à la surface utilisable.

Les accumulateurs exposés se rapportaient à deux types principaux : accumulateurs à poste fixe et accumulateurs à traction.

Les batteries à poste fixe peuvent servir de réservoirs d'énergie ou de tampons.

Les éléments pour traction sont utilisés pour les voitures automobiles sur rails ou sur routes. Ces éléments doivent avoir une solidité suffisante pour résister aux trépidations, une légèreté relative, tout en conservant une grande capacité. Il est souvent nécessaire qu'ils puissent se charger rapidement, condition remplie par les accumulateurs Blot.

Dans le but de profiter de la grande capacité relative sous un poids moindre des plaques à oxydes rapportés, la société a combiné un type mixte dont la positive est du type Blot et la négative du type Fulmen. Ces éléments mixtes sont parmi ceux qui ont donné les meilleurs résultats dans le concours international d'accumulateurs institué en 1889 par la Société d'encouragement pour le développement de l'industrie automobile en France.

Parmi les objets exposés par la compagnie Blot, on peut citer des séries de plaques dont la surface active peut aller jusqu'à 5 mètres carrés; des éléments à poste fixe dont la capacité pouvait atteindre 900, 1,000, 1,750 et 5,400 ampères-heures. Ces éléments étaient contenus dans des bacs en bois doublé de plomb, à côté d'éléments de capacité plus faible contenus dans des bacs en verre. On remarquait encore divers éléments employés à la traction électrique sur rails, et une série d'éléments mixtes Blot-Fulmen destinés à la traction sur route.

II. ACCUMULATEURS SYSTÈME FAURE.

Electrical power storage company, L^d. — La Compagnie anglaise E. P. S. est la plus ancienne en date qui se soit consacrée exclusivement à la fabrication des accumulateurs et à leur exploitation industrielle. Elle a exploité les brevets de C.-A. Faure (1880), l'inventeur de plaques à oxydes rapportés, ainsi que ceux de Swan, Sellon et d'autres encore, comme M. King, qui peu après perfectionnèrent l'invention de Faure.

Les accumulateurs exposés se divisaient en trois types dont les plaques sont toutes à oxydes rapportés : les accumulateurs stationnaires, les accumulateurs pour traction et les accumulateurs portatifs.

Il est impossible de décrire ici tous les types que construit cette société. Signalons seulement, parmi les batteries fixes, l'apparition de types successifs qui supportaient des décharges de plus en plus rapides. En 1889, un type K pouvait se décharger en trois heures et demie, en fournissant des courants de 25 à 136 ampères suivant les modèles. En 1897, la société créa un type K^{ws} dont la décharge totale pouvait s'effectuer en deux heures, en débitant jusqu'à 825 ampères pour un grand modèle, et enfin, en 1898, un type K^{LP} dont un grand modèle fournissait 1,400 ampères pendant une heure ou 420 ampères pendant sept heures. Les améliorations réalisées ont réduit entre 3 p. 100 et 8 p. 100 du prix de la batterie les dépenses d'entretien qui étaient primitivement de 15 p. 100.

Les batteries pour automobiles ont été considérablement améliorées en 1895 par l'introduction du type Faure-King, dont le perfectionnement principal consistait à faire usage d'une couche de papier d'asbeste silicaté pour retenir les oxydes sur les plaques; ce papier est ensuite recouvert d'une feuille d'ébonite perforée.

Enfin, la société exposait divers types d'accumulateurs légers.

L'importance de la production de cette Compagnie la place aujourd'hui, ainsi que la Société the Chloride Electrical Storage que nous examinerons plus loin, au premier rang de la fabrication anglaise. Le Jury lui a décerné une médaille d'or.

La Société nouvelle de l'accumulateur Fulmen, à laquelle le Jury a décerné une médaille d'or, date de 1892. Dans son usine de Clichy, elle construit des accumulateurs à oxydes rapportés, genre Faure. Les pastilles d'oxyde sont serties dans 24 alvéoles à section en queue d'aronde, formées par l'application l'une contre l'autre de deux grilles en plomb antimonié fondu, composées d'une série de barreaux à section triangulaire, croisés à angle droit. L'épaisseur de ces grilles est de 4 millimètres. L'ensemble de la plaque présente un poids relativement faible par rapport à la surface active.

Le grillage est à peu près le même pour les plaques positives et pour les plaques négatives.

Ces accumulateurs ont été spécialement étudiés en vue de leur application aux voitures électriques, on a cherché à réaliser une capacité suffisante pour pouvoir effectuer

sans recharge un parcours d'environ 80 kilomètres tout en n'atteignant pas un prix élevé.

Les accumulateurs Fulmen peuvent fournir par kilogramme de plaques un débit spécifique de 3 ampères avec une capacité de près de 15 ampères-heures; 37 kilogr. 5 fournissent un kilowatt-heure et 27 kilogrammes alimentent un cheval-vapeur-heure.

Les plaques peuvent supporter 100 à 150 décharges avant d'être mises au rebut. Le prix d'entretien annuel d'une batterie en service quotidien varie de 50 à 80 p. 100 du prix d'achat.

En dehors des automobiles électriques, les accumulateurs Fulmen trouvent leur emploi dans toutes les applications où le poids et l'encombrement doivent être réduits. Parmi les applications les plus intéressantes, on peut citer la locomotive électrique de la Compagnie des chemins de fer P.-L.-M. et un bateau sous-marin.

Nous avons signalé déjà l'association d'une plaque positive Blot et d'une plaque négative Fulmen pour la constitution d'un élément Blot-Fulmen donnant d'excellents résultats.

Société française des accumulateurs *Phénix*. — L'accumulateur *Phénix* constitue l'une des tentatives de perfectionnements les plus intéressantes qu'on ait faite sur les accumulateurs, en entrant dans une voie nouvelle, celle de la modification de la forme. Les électrodes ne sont plus des plaques : ce sont de nombreux petits cylindres dont l'axe est une tige de plomb antimonié de 2 millimètres de diamètre, portant deux épaulements distants de 7 centimètres. Entre ceux-ci, on fait adhérer autour de la tige axiale la pâte de matière active, formant un cylindre de 6 millimètres de diamètre. Autour de ce cylindre, on glisse des rondelles d'ébonite dont la première repose sur l'épaulement inférieur, et dont les autres se superposent de façon à établir une enveloppe cylindrique retenant la matière active. Les cylindres négatifs et positifs sont construits de la même manière. On soude bout à bout six de ces petits cylindres; tous les chapelets positifs sont soudés à une plaque de plomb antimonié, et tous les chapelets négatifs à une autre plaque. Ces chapelets sont disposés en quinconce. Les deux plaques sont fixées l'une au-dessus de l'autre, la plaque positive dessus. La plaque inférieure est percée de trous pour laisser passer les cylindres fixés à la plaque supérieure. Une plaque d'ébonite percée de trous repose sur la partie supérieure des chapelets.

Les éléments sont enfermés dans des bacs en ébonite fermés par de la paraffine.

Cette disposition d'invention récente est exploitée par une Société formée à la fin de l'année 1899. Les premiers essais des accumulateurs ont été assez satisfaisants pour valoir à la nouvelle Société des commandes importantes la plaçant en un très bon rang parmi les fabriques d'accumulateurs. Les accumulateurs *Phénix* ont une grande capacité alliée à une extrême solidité et, malgré la date récente de sa constitution, le Jury n'a pas hésité à accorder à la Société des accumulateurs *Phénix* une médaille d'or.

La Société exposait divers types d'accumulateurs, les uns légers pour la traction et

des applications diverses; les autres à poste fixe pour les stations centrales de distribution d'énergie ou d'éclairage : les premiers d'une capacité de 1 à 1,000 ampères-heures, pour être déchargées en 5 heures; les seconds, de 10 à 6,500 ampères-heures pour une durée moyenne de décharge de 6 heures.

La capacité par kilogramme varie avec le régime dans les limites suivantes : pour un régime de 2 ampères au kilogramme, la capacité a atteint 21 ampères-heures au kilogramme, et s'est abaissée à 7,88 ampères-heures pour un régime de 7,9 ampères par kilogramme de plaques. Les rendements ont varié, suivant les conditions, entre 75,5 p. 100 et 86,5 p. 100 pour des éléments dont le plomb pesait 9 kilogrammes, 38 kilogrammes et 225 kilogrammes.

Un perfectionnement très ingénieux et tout récent, imaginé par M. G. Philippart, et qui ne figurait pas à l'Exposition, fournit un type dont les capacités sont plus élevées et le prix de revient moindre que pour le type que nous venons de décrire. L'accumulateur est formé par une réunion de petits blocs de 23 centimètres de haut et de 3 cent. 5 de diamètre, dont chacun représente un élément complet à positive et à négative. Le pôle positif est formé par la tige centrale en plomb antimonieux entourée d'une enveloppe cylindrique de peroxyde; celle-ci est enveloppée par un tube en terre poreuse formant à la fois manchon de support et véhicule pour l'électrolyse; le manchon est enveloppé d'un fil de plomb roulé en spirale, noyé dans un enduit en plomb spongieux et qui constitue l'électrode négative; ce dernier enduit est retenu par une gaine perforée. Le maniement et le montage de ce type d'éléments sont des plus faciles.

Une médaille d'argent a été accordée à M. Michel Pisca, dont l'usine est au Lude (Sarthe). Cette maison, fondée en 1885, exposait des accumulateurs de divers modèles, les uns à poste fixe, les autres transportables, et parmi ces derniers, une série spécialement étudiée pour la propulsion des automobiles. M. Pisca a cherché moins à obtenir une grande capacité qu'une longue durée des éléments et à donner une solution moyenne acceptable entre les solutions extrêmes de légèreté excessive et d'entretien coûteux ou de très longue durée, mais de poids prohibitif.

Les plaques des accumulateurs Pisca sont à oxydes rapportés; elles ont 3 à 4 millimètres d'épaisseur, les positives étant un peu plus épaisses que les négatives. Les bacs sont en caoutchouc semi-durci munis de rainures qui assurent la solidité de l'ensemble et maintiennent l'isolement des plaques. La capacité par kilogramme de plaques était environ de 8,5 ampères-heures pour tous les modèles, au débit de 2,2 ampères par kilogramme et pour une durée normale de décharge de 3 heures, durée qu'on peut réduire à 1 heure et demie en ne perdant que 8 p. 100.

M. Alfred Dinin, auquel le Jury a accordé une médaille d'argent, exposait des accumulateurs du système allemand W.-A. Bœse. Ce sont des accumulateurs légers transportables, dans lesquels la matière active se maintient d'elle-même assez solidement pour qu'on ait pu supprimer les grillages en plomb et l'entourer d'un simple cadre en

plomb. Le procédé de fabrication de la matière active, breveté en 1892, consiste à prendre du minium pour les plaques positives et un mélange de minium et de litharge pour les plaques négatives, et à faire avec ces oxydes une pâte, en les mélangeant avec de l'alcool contenant des carbures d'hydrogène obtenus dans la distillation de la houille et en particulier de l'anthracène. Les plaques de pâte moulée contiennent de nombreux petits trous pour faciliter le dégagement des gaz. Les plaques séchées puis durcies par une immersion dans de l'eau acidulée sont formées par électrolyse. La suppression du poids mort du grillage donne à ces accumulateurs une légèreté relative par rapport à leur capacité, légèreté que l'on accroît par l'emploi de bacs en celluloïd. M. Dinin présentait divers types d'éléments parmi lesquels des éléments transportables destinés à l'éclairage de wagons. Ces éléments avaient des capacités variables de 12 à 19 ampères-heures par kilogramme de plaques; le poids des plaques variait de 4 à 6 kilogrammes environ, pour des régimes de 4 ampères à 0,8 ampère par kilogramme de plaques. Ces accumulateurs fournissaient donc de bons résultats pour l'objet auquel ils étaient destinés.

Une autre médaille d'argent a été attribuée à la Compagnie autrichienne Accumulatoren Fabrik Wüste und Rupprecht, à Vienne et à Baden près Vienne. Cette compagnie, fondée en 1895, exposait diverses plaques d'accumulateurs à décharge rapide ou lente applicables soit à l'éclairage électrique des trains (brevet Dich), soit à la traction électrique. Ces plaques peuvent se recommander par leur prix réduit. Le support qui maintient la matière active est constitué par deux grilles placées l'une contre l'autre, ayant des ouvertures en forme de losange; les côtés de ces losanges sont en biseau vers l'intérieur, de façon à sertir la matière active, et les losanges des deux grilles en regard sont disposés de telle sorte que les sommets des uns sont vis-à-vis des centres des autres. Les pastilles de matière active sont percées de trous.

La maison P. Chalmeton et Cie, dont l'usine est à Lagny (Seine-et-Marne), a obtenu également une médaille d'argent. Cette maison a succédé depuis 1898 à la maison Walls et Cie, fondée en 1892. Elle exploite en France les brevets Faure, Sellon, Volckmar, comme le fait en Angleterre la Société Electrical Power Storage Company Limited, dont nous avons décrit l'exposition, mais elle y a apporté des perfectionnements qui lui sont propres : telle est la suppression de l'emploi, pour la plaque positive, du plomb antimonieux. Le plomb doux employé se forme peu à peu en Planté et maintient la constance de la capacité. Le procédé de montage est aussi particulièrement simple et robuste, et les plaques sont séparées entre elles par des tubes de verre verticaux. Les accumulateurs exposés appartenaient à trois types :

Genre A. — Accumulateurs industriels à poste fixe (entretien annuel, 4 à 8 p. 100);

Genre B. — Accumulateurs à décharge rapide fournissant des courants très intenses (entretien, 8 à 15 p. 100);

Genre C. — Accumulateurs légers à grande capacité (entretien annuel, 15 à 25 p. 100).

Le rendement moyen en énergie de ces accumulateurs varie, suivant l'intensité du courant, de 70 à 80 p. 100.

La fabrique d'accumulateurs A. Heinz et Cie, dont l'usine est à Paris-Levallois, a obtenu pour sa fabrication une médaille d'argent. Après avoir travaillé depuis 1883, d'abord pour la Société French Electrical Power Storage, devenue plus tard la Société française des accumulateurs Faure, Sellon, Volckmar, après avoir étudié et construit le matériel de la compagnie Chalmeton et étudié l'accumulateur *Phénix* en collaboration avec M. G. Philippart, M. Heinz est depuis 1900 à la tête d'une compagnie qui exploite divers perfectionnements de l'inventeur. L'un de ces perfectionnements consiste à enrouler autour des plaques à oxydes rapportés un fil, soit d'amiante, soit de caoutchouc et d'amiante, qui crée sur toute la surface une pression uniforme et retient la matière active sans entraver la circulation de l'électrolyte ni le dégagement gazeux. Cette disposition pour un accroissement minime de dépense donne une vie double aux plaques qui en sont munies.

La fabrique d'accumulateurs Heinz exposait deux catégories d'éléments : les uns à grande capacité spécifique pour la traction des voitures automobiles, l'allumage des moteurs de voitures à pétrole, l'éclairage des voitures, etc.; les autres, à faible capacité spécifique, pour l'éclairage à poste fixe, les stations centrales, etc.

Les plaques positives dans ces deux catégories d'éléments sont des deux types Faure et Faure-Planté. Pour les plaques à grande capacité spécifique, la plaque est en plomb antimonieux fondu et empâté d'un mélange de minium et de litharge, elle est munie du fil d'amiante. Pour les plaques positives à faible capacité spécifique, celles-ci sont en plomb doux, présentant des nervures parallèles, profondes et alternées sur les deux faces. Après avoir rendu la surface rugueuse par une immersion dans l'acide chaud, les plaques sont empâtées de minium. Au début, elles fonctionnent comme des plaques Faure, puis se forment dans la suite en Planté.

Les plaques négatives sont toutes du même type, formées d'un grillage en deux parties soudées l'une contre l'autre après empâtage.

La capacité des éléments de la première catégorie varie de 12 à 18 ampères-heures au kilogramme d'électrodes, suivant les régimes, et celle des éléments de la seconde est comprise entre 5 et 6 ampères-heures.

La Société française pour la construction des accumulateurs électriques, marque *Excelsior,* a obtenu pour son exposition une médaille d'argent. Cette société exploite depuis 1897 la construction des accumulateurs *Dujardin* après les avoir complètement modifiés. L'usine est à Pont-Authou (Eure). Les perfectionnements ont eu surtout pour but de donner aux plaques une plus grande solidité et de diriger les foisonnements dans un sens qui ne soit pas nuisible aux accumulateurs. Des types spéciaux ont été créés pour la traction et pour l'allumage des moteurs à pétrole. Tous ces modèles réunissent des qualités de bonne construction et de bonne capacité.

Une médaille d'argent a également été attribuée à la Société des voitures électriques et accumulateurs, à Neuilly-sur-Seine, pour son exposition d'accumulateurs légers à oxydes rapportés.

MM. Becker et Cie, à Paris, dont l'usine est à Bourron (Seine-et-Marne), ont exposé des accumulateurs industriels, ainsi que des modèles de laboratoire, des batteries transportables. Les accumulateurs, tous du type à grillage antimonié et à matière active rapportée, ne présentaient pas de particularités nouvelles. Les cadres étudiés pour être très robustes supportent sans gondolement des décharges très rapides. La bonne construction des accumulateurs a valu à cette maison une médaille de bronze.

Une médaille de bronze a été accordée également à la Société des plaques d'accumulateurs Champagne, dont l'usine est à Montataire (Oise).

Cette société exposait divers types d'accumulateurs dont les rendements annoncés étaient de 80 p. 100 et dont la capacité au kilogramme variait de 14 à 16 ampères-heures. Ces accumulateurs se distinguent par le mode de construction de la plaque qui est fondue d'un seul coup sur des fausses pastilles en craie qu'on enlève ensuite en les dissolvant par de l'acide chlorhydrique, pour les remplacer par la matière active; ce mode de construction assure une grande solidité aux pastilles. M. A. Perrin a apporté un perfectionnement important au montage en employant des plaques positives plus petites que les négatives, entre lesquelles sont disposés des séparateurs formés de plaques perforées en celluloïd, sur lesquelles sont fixées de chaque côté des demi-baguettes en même matière. L'ensemble des électrodes positives et négatives munies des plaques de séparation était cerclé au moyen de bandes appropriées de manière à empêcher toute séparation ultérieure, les séparateurs suppriment les courts circuits intérieurs.

La Société anonyme suisse des accumulateurs Tribelhorn, à Olten et à Buenos-Ayres, dont la fondation en Amérique date de 1892 et la constitution actuelle de 1900, expose des accumulateurs stationnaires dont l'aspect assez original rappelle celui d'une pile d'assiettes. La plaque des accumulateurs ordinaires est remplacée par une cuvette en plomb qui contient des deux côtés des rainures circulaires dans lesquelles on met du peroxyde de plomb. Celui-ci est retenu sur place par le recourbement des rainures. Le fond de la cuvette contenant la matière active forme le pôle positif. On y verse de l'eau acidulée, puis on place au-dessus une autre électrode soutenue par des billes de verre et dont le fond conique plonge dans le liquide; ce fond forme l'électrode négative tandis que l'autre face forme l'électrode positive d'un nouvel élément superposé au premier. On peut ainsi former des colonnes dont la différence de potentiel aux extrémités varie entre 50 et 70 volts. Ces colonnes rappellent la pile de Volta, ou plutôt celle de Ritter.

Un autre modèle diffère par la forme des récipients qui sont alors carrés et dont le fond contient des auges dans lesquelles on met la matière active; de petites électrodes négatives solidaires du fond du récipient supérieur et constituant des bandes parallèles aux auges viennent plonger dans le liquide.

L'accumulateur Tribelhorn comporte aussi un type transportable dans lequel on a pris des dispositions particulières pour assurer l'étanchéité entre chaque cuvette en même temps que l'isolement. On peut appliquer au fond de ces cuvettes les divers procédés de formation en usage, par exemple le procédé Planté. Cet accumulateur est l'application d'une idée déjà réalisée en 1883 par M. G. Philippart, qui avait construit des batteries composées d'électrodes doubles de forme conique, positives sur une face et négatives sur l'autre, et emboîtées les unes dans les autres tout en étant séparées par des cales isolantes. Le cône formait cuvette pour l'électrolyte et l'âme massive formait connexion entre deux éléments consécutifs.

Les avantages du système Tribelhorn sont la suppression des bacs, la simplicité du montage et du démontage, mais les inconvénients sont le poids relativement considérable des batteries, les difficultés d'entretien, de renouvellement du liquide et de construction des grandes cuvettes, difficulté qui limite aux petites et aux moyennes batteries l'emploi de ce système. Le plus gros élément construit avait une capacité de 800 ampères-heures. Pour une décharge lente, la capacité est environ 3 ampères-heures par kilogramme de plomb pour un régime de 0,3 ampère par kilogramme.

Parmi les exposants ayant obtenu une médaille de bronze, nous citerons encore la Société électrique du Nord, dont l'usine est à Roubaix (Nord), et qui exposait des accumulateurs électriques industriels dits *Peigne*. Dans cette disposition, la légèreté a été sacrifiée à la solidité. Les plaques sont formées de lamelles de plomb coulé ayant à leur surface des cavités rectangulaires en forme d'augets que l'on tartine de matières actives. Ces accumulateurs ont une capacité qui, dans les modèles les plus favorables, varie de 3,7 à 4 ampères-heures par kilogramme de plaques au régime de 0,4 ampère par kilogramme.

M. Clarenc fils, ingénieur-constructeur à Paris, exposait des accumulateurs *Julien* à oxyde rapporté. Ces appareils se distinguent par le soin apporté à leur construction, ce qui leur a donné une capacité utile assez grande, avec un rendement qui atteint 85 p. 100. L'écartement entre les lames est maintenu par des tampons en caoutchouc para pur faisant corps avec les lames à l'intérieur, dispositif qui assure un bloc très homogène et bien isolé. La capacité de ces éléments varie de 14 à 21 ampères-heures par kilogramme de plaques pour des régimes compris entre 3 ampères et 0,5 ampère par kilogramme.

La formation très soignée de ces accumulateurs et les rapports favorables de divers essais lui ont fait décerner par le Jury une mention honorable.

Ajoutons encore pour terminer l'énumération des accumulateurs genre Faure qui figurent dans la Classe 24, les accumulateurs *Roux* exposés dans la section belge par la Société anonyme d'électricité et de constructions mécaniques de Bruxelles, société de formation toute récente, en janvier 1900.

Les plaques de cet accumulateur sont des grilles en plomb remplies de matières actives; les plaques se forment en quelques heures dans un bain particulier. Dans le montage, les positives sont séparées des négatives par une gaine d'amiante collée fortement à la surface peroxydée.

Ces accumulateurs paraissent donner de bons résultats.

III. ACCUMULATEURS MIXTES.

ACCUMULATEURS À PASTILLES DE CHLORURE DE PLOMB.

La Société anonyme pour le travail électrique des métaux exposait divers types de plaques d'accumulateurs, à oxydes rapportés. Cette société, constituée en 1886, était hors concours par le fait de la présence dans le Jury d'un de ses administrateurs, circonstance qui nous conduit à la placer dans notre description à la tête de la liste des exposants d'accumulateurs de cette catégorie. Par l'importance de sa production, elle occupe, du reste, l'un des premiers rangs dans la fabrication française. Cette société a exposé des types de plaques et d'éléments d'accumulateurs destinés à des usages divers : stations centrales d'éclairage ou de traction, éclairage des voitures ou des wagons, traction de tramways, traction des automobiles et inflammation des moteurs à pétrole.

Les plaques des appareils à poste fixe sont toutes formées avec des matières rapportées. Les dimensions des plaques des modèles courants variaient entre $6^c \times 6$ et $80^c \times 40$.

La construction des plaques positives et des plaques négatives est notablement différente et appropriée aux déformations qu'elles tendent à subir, ainsi qu'au rôle particulier de chacune d'elles. Les plaques positives sont constituées par des cadres en alliage inoxydable coulé sous pression, ce qui donne à l'armature une grande solidité. La surface des cadres présente des rainures ou augets dans lesquels on applique une pâte d'oxyde de plomb, destinée à se transformer en matière active; ces plaques ne se déforment pas en service et peuvent être regarnies plusieurs fois de matière active.

Les plaques négatives sont obtenues par la coulée d'un quadrillage de plomb antimonié autour de pastilles de chlorure de plomb fondu, de manière à les sertir. La réduction de ces pastilles fournit un plomb spongieux d'une grande porosité. Les plaques négatives ainsi construites paraissent fort bonnes et fournissent sans détérioration un grand nombre de décharges.

Ces deux types de plaques constituent des éléments à poste fixe contenus dans des bacs en bois doublé de plomb pour les plaques de grandes dimensions, et dans des bacs en verre pour les petites plaques. Le mode de suspension et d'assemblage des plaques permet de retirer et de remettre dans les éléments l'une quelconque des plaques sans toucher aux autres.

Le plus gros élément exposé comporte 51 grandes plaques de $80^c \times 40$, et a une

capacité de 8,000 ampères-heures au régime de 800 ampères. Il peut supporter des décharges au débit de 10,000 ampères. Une batterie d'éléments de ce modèle est en service dans l'usine d'un des secteurs de Paris.

Le plus petit élément comporte trois plaques de $6^c \times 6$, et peut débiter 3 ampères pendant six heures.

La Société exposait, en outre, divers modèles montés avec des plaques de même fabrication que les types ci-dessus, mais différant par les dimensions et par le poids des plaques. Parmi les types spéciaux de plaques légères, il convient de signaler : 1° des plaques très minces, genre Faure, fabriquées au moyen de pastilles de chlorure de plomb, peroxydé pour la positive et réduit pour la plaque négative; 2° des plaques formées d'un grillage très mince, empâté, donnant une très grande capacité spécifique; 3° des plaques à grande surface, genre Planté, constituées par des rubans de plomb très minces, peroxydés par des méthodes particulières, dont la capacité est un peu moindre que celle des plaques empâtées, mais dont la durée est beaucoup plus grande. Ces divers types de plaques sont destinés aux batteries de traction électrique.

Des spécimens de batteries montées destinées à ces usages : traction des tramways ou des voitures automobiles, éclairage des voitures ou d'un yacht de plaisance, etc., étaient mis sous les yeux des visiteurs.

L'endurance et la solidité des plaques des éléments fixes, la facilité de manœuvre et d'entretien, la grande capacité des plaques légères, justifient l'importance de la production de la société qui atteint annuellement 3,000 tonnes et représente en moyenne 4 millions de francs.

The Chloride Electrical Storage Syndicate, Limited. — A côté de la compagnie plus ancienne E. P. S., se place, avec une production un peu supérieure, la Société The Chloride Electrical Storage Syndicate, à laquelle le Jury a décerné également une médaille d'or. Cette société, fondée en 1893, construit des accumulateurs dans son usine, à Clifton Junction, près de Manchester, et exploite en même temps un appareil électrolytique dont nous donnerons la description dans un autre chapitre. L'accumulateur qu'elle fabrique est du type mixte. La plaque négative est obtenue par la réduction de pastilles de chlorure de plomb, dont la première application avait été exploitée par la compagnie américaine Electric Storage Battery, et dont le syndicat a acheté les brevets, sauf pour les États-Unis et le Canada. La plaque positive est du genre Planté.

La plaque positive est la même, sauf les dimensions, pour tous les types d'éléments. Elle est formée par un quadrillage en plomb antimonieux, coulé sous pression, qui présente une série de trous circulaires de forme tronconique dont la petite section est au milieu de la plaque. Dans ces trous on introduit des bandes de plomb doux striées sur un côté, et enroulées en spirale. Ces « rosettes » sont introduites à la main dans les trous, puis comprimées à la presse hydraulique, compression qui assure leur fixation. Ces plaques sont ensuite peroxydées électrolytiquement, subissant ainsi une formation du genre Planté.

La plaque négative est constituée par des pastilles de chlorure de plomb, fabriqué par précipitation, puis mélangé à du chlorure de zinc, fondu, puis coulé en pastilles.

Les pastilles sont disposées à la main sur un moule à plaque dans lequel on coule autour des pastilles un cadre de plomb antimonieux qui les sertit. On réduit ensuite le chlorure à l'état de plomb spongieux en mettant les plaques en contact avec des plaques de zinc.

Ces accumulateurs servent à divers usages, et en particulier à l'éclairage, soit à poste fixe, soit dans des voitures, soit encore dans les stations centrales comme réservoirs d'énergie, soit encore pour la traction. D'après les constructeurs, des accumulateurs de ce type seraient capables de fournir, sans être renouvelés, et en subissant un très grand nombre de charges et de décharges, un trajet de 25,000 milles (40,000 kilomètres), avec une dépense de 0 fr. 15 par mille et par voiture.

Les bonnes conditions de fabrication et les qualités de cet accumulateur expliquent sa grande production, 7 tonnes environ par jour, qui représentent environ 4 millions de francs par an, ce qui est à peu près la production de la Société anonyme pour le travail des métaux et de la Société française de l'accumulateur Tudor.

ACCUMULATEURS GENRE PLANTÉ-FAURE.

ACCUMULATEURS TUDOR.

La Société française de l'accumulateur Tudor a repris le 1er janvier 1897 la suite des affaires d'une société franco-belge, constituée en septembre 1891. Cette société était hors concours par suite de la présence dans le Jury d'un de ses administrateurs. L'accumulateur qu'elle exploite est un accumulateur mixte. L'importance de sa production la place à côté de la Société pour le travail électrique des métaux, dans les premiers rangs de la production française.

Les plaques positives des éléments Tudor sont à formation Planté. Elles sont constituées par une série de lamelles de plomb juxtaposées retenues par un cadre extérieur, en plomb doux fondu, et auxquelles le courant est transmis par des cloisons nombreuses, perpendiculaires aux lamelles. Les plaques exposées étaient de deux types, différant entre eux par l'orientation des lamelles et par l'étendue de la surface active.

Dans l'un des types de plaques positives, les lamelles sont horizontales et maintenues par des cloisons verticales. La plaque comprend 140 de ces lamelles horizontales ayant la largeur et l'épaisseur de la plaque, et divisées par les cloisons verticales en 15 bandes verticales de 1 centimètre environ de largeur. Ces cloisons sont d'inégale épaisseur; trois d'entre elles, de 1 millimètre d'épaisseur, concourent à la rigidité de la plaque. La portion supérieure du cadre porte à sa partie centrale une queue de connexion très robuste, et sur chaque extrémité un anneau qui sert au montage. Les deux angles supérieurs de la plaque sont coupés et présentent une échancrure de 30 milli-

mètres de hauteur sur 10 millimètres de largeur. La surface active est de 24 décimètres carrés. Dans chaque élément, il y a cinq de ces plaques, ce qui porte la surface active à 120 décimètres carrés.

Dans un autre modèle, les lamelles sont verticales et réunies entre elles par des séparations de plus forte section, dans le sens vertical et dans le sens horizontal, constituant une sorte de quadrillage dont les caissons emprisonnent les lamelles. Le cadre en plomb doux porte des ouvertures annulaires à la partie supérieure et des échancrures à la partie inférieure, comme le modèle précédent. La surface active d'une de ces plaques est de 40 décimètres carrés. Chaque élément comprend également cinq plaques et a, par suite, une surface active de 2 mètres carrés.

La formation autogène de ces plaques en acide faible dure une quarantaine de jours.

Les plaques négatives sont des grillages en plomb antimonié empâtés de litharge. Dans le modèle qui est associé au premier modèle de positive décrit plus haut, le grillage se compose de cellules rectangulaires allongées horizontalement, tandis que dans celles qui sont associées au second modèle les grands côtés des rectangles sont verticaux. Les six plaques négatives de chaque élément sont réunies entre elles en haut et en bas par quatre bandes soudées. Elles forment un bloc qui repose sur une saillie placée au fond du bac de l'accumulateur. Entre ces négatives, on intercale les positives en les suspendant par des barres d'ébonite placées dans les anneaux de celles-ci, et qui reposent sur les négatives. Les positives, réunies entre elles par les queues centrales, sont libres à la partie inférieure.

L'écartement des plaques est assuré par des baguettes de verre en forme d'U renversé, qui sont maintenues par les saillies des plaques négatives.

Les batteries, ainsi constituées, paraissent donner de très bons résultats, soit dans l'éclairage électrique, soit dans les stations centrales, ou dans les applications les plus diverses. Elles sont parmi celles qui ont le mieux supporté les épreuves multiples du concours international dont nous avons déjà parlé plus haut.

Le Jury a décerné une médaille d'or à l'Accumulatoren-Fabrik Aktiengesellschaft, de Berlin, en comprenant dans cette distinction les filiales de cette société. Par l'importance de sa production, cette fabrique paraît la plus grande de celles qui existent aujourd'hui. Fondée en 1887 pour exploiter en Allemagne le système mixte Tudor, elle établit son usine principale à Hagen, en Westphalie, puis elle ne tarda pas à fonder des succursales à Vienne, à Budapest et à Saint-Pétersbourg. Parmi ces succursales, celle de Vienne a exposé dans la section autrichienne de la Classe 24, et celle de Budapest dans la section hongroise, en même temps que la Société de Berlin exposait dans la section allemande. La production annuelle de cette fabrique atteint plus de 12 millions et demi de francs, pour l'usine de Hagen, et plus de 3 millions pour la succursale de Vienne, ce qui constitue à peu près le tiers de la production annuelle totale des fabriques d'accumulateurs qui ont pris part à l'Exposition dans la Classe 24.

Comme nous venons de le dire, les accumulateurs exposés sont du système mixte

Tudor, mais des perfectionnements successifs ont complètement transformé la plaque positive du système primitif. Dans celui-ci, en effet, la plaque positive était constituée par un grillage en plomb fondu doux, muni d'une âme épaisse et présentant de nombreuses nervures horizontales. Le procédé de formation Tudor consistait à peroxyder superficiellement la plaque par le procédé Planté, puis à empâter les nervures suivant le système Faure, et enfin à peroxyder l'empâtage par une seconde transformation.

Un premier perfectionnement fut de couler les nervures plus larges, de façon à augmenter la surface active; lorsque la matière active pulvérulente était tombée, les plaques se trouvaient formées en Planté, et continuaient à servir. Les plaques furent munies de nervures transversales pour les rendre plus rigides; plus tard, on supprima l'empâtage et on forma les plaques positives exclusivement par le procédé Planté; enfin, on supprima l'âme des plaques, ce qui permit de réduire le poids, tout en assurant une rigidité suffisante par les nervures transversales.

La plaque positive actuelle est composée d'un quadrillage coulé en plomb doux et possédant sur ses deux faces un nombre considérable de nervures verticales fines, très rapprochées et de section triangulaire, le sommet étant à la surface et la base au milieu de la plaque. Des nervures horizontales plus espacées donnent de la rigidité à la plaque qui est munie d'un cadre et de deux queues de suspension.

La plaque négative est une grille dont les alvéoles sont remplies d'un empâtage à base de litharge; leur forme rectangulaire ne diffère pas de celle qui a déjà été décrite pour les accumulateurs Tudor.

Nous n'entrerons pas ici dans les divers détails de montage des éléments. Pour un élément G. 10 pesant 298 kilogrammes et déchargé en dix heures, la capacité a atteint 1,197 ampères-heures, au régime de 119 ampères. Pour un autre élément à décharge rapide, G. S. 10, du même poids, en trois heures, au régime de 283 ampères, la capacité a été de 849 ampères-heures, et en une heure de 610 ampères-heures.

Pour l'éclairage des trains, un élément dont la plaque négative a des alvéoles en losanges, et dont le poids total est 20 kilogrammes, fournit 11 ampères pendant dix heures, ou 26 ampères pendant trois heures.

Pour la traction automobile, un élément (O. 72) pesant en tout 20 kilogr. et demi débite 26 ampères pendant cinq heures ou 65 ampères en une heure.

Enfin un élément de très grandes dimensions pouvait donner 5,000 ampères pendant dix heures, ou 25,000 en une heure. Cet élément monté dans un réservoir cubique en bois de 2 mètres de côté était plutôt une curiosité qu'un appareil courant.

Les accumulateurs construits par la Société s'appliquent aux usages les plus divers : éclairage, traction, stations centrales, etc.

ACCUMULATEURS POLLAK.

Trois sociétés exposaient des accumulateurs d'un même système, le système Pollak, dont les procédés spéciaux sont basés sur le laminage du plomb, et sur une formation

spéciale au carbonate de plomb; la matière active est produite par la réduction du bicarbonate dans une solution alcaline, sur la plaque même. Les plaques en plomb garnies de plomb poreux sont formées par le procédé Planté. Elles fonctionnent d'abord par la matière active, puis au bout d'un certain temps, lorsque celle-ci est tombée, le support en plomb doux qui, peu à peu, s'est formé en Planté, se substitue aux électrodes primitives. Les sociétés qui ont exposé cet accumulateur sont les suivantes :

Accumulatoren Werke System Pollak Aktiengesellschaft. — Cette société a son siège à Francfort-sur-le-Mein; elle date de 1891; le tableau annuel de sa production montre un développement rapidement croissant qui aboutit en 1899 à une production de plus de 2 millions par an.

L'installation comprenait principalement l'exposition de quelques types remarquables parmi lesquels nous citerons :

Un grand élément (type N. S. 53) qui possède une capacité de 5,510 ampères-heures, pour une décharge durant dix heures, avec un courant maximum de charge et de décharge de 1,368 ampères. Il contient 39 électrodes et pèse tout chargé 1,423 kilogrammes. Il a 0 m. 92 de longueur, 0 m. 90 de large et 1 m. 07 de haut.

Une batterie de 250 éléments (type M. 1) installée dans une armoire, d'une capacité de 0,6 ampère-heure, et disposée pour donner une haute tension; les éléments sont isolés par de la paraffine. Par des groupements convenables on peut décharger la batterie à 500 volts et la charger à 150. On peut réunir aussi plusieurs armoires-batteries pour obtenir de grandes différences de potentiel.

Cette société a obtenu une médaille d'or.

Accumulateurs Pollak, à Vienne. — La même distinction a été accordée à l'exposition de la Société autrichienne qui présentait divers types d'accumulateurs Pollak.

Compagnie générale électrique de Nancy. — Cette Compagnie, fondée en 1898 et dont l'usine est à Nancy, exposait des accumulateurs du système Pollak, empâtés, comme il a été dit plus haut, sur une âme en plomb doux formée de rubans laminés, de façon à présenter des aspérités qui retiennent la matière active. Une fois celle-ci réduite en plomb spongieux par électrolyse, on comprime ce plomb sur lequel viennent se rabattre les aspérités de la plaque, de manière à le fixer. L'utilisation du support en plomb qui se forme peu à peu en Planté contribue à donner de la stabilité à la capacité, malgré la chute de matière. Pour répondre aux différents besoins, la Compagnie générale électrique de Nancy a construit deux modèles distincts de plaques positives. Ces deux modèles ne diffèrent que par le nombre des saillies que présentent les plaques à leur surface. Pour les accumulateurs à décharge rapide, le nombre des aspérités est plus grand, il y a 29 p. 100 de matière active, tandis que pour les accumulateurs ordinaires la plaque positive n'a que 23 p. 100 de matière. Les positives à décharge rapide sont donc un peu plus lourdes.

Pour toutes les négatives, le rapport de la matière active au poids total de la plaque est de 29 p. 100.

Les accumulateurs exposés sont employés soit comme batteries stationnaires se dé-

IMPRIMERIE NATIONALE.

chargeant entre trois et dix heures, soit comme accumulateurs à décharge rapide d'une durée de trois à une heure, soit comme batteries-tampons pour tramways, soit comme accumulateurs légers de traction ou d'éclairage des voitures de chemins de fer.

Les accumulateurs du type stationnaire (S) fournissent une capacité de 8,5 ampères-heures par kilogramme de plaque au régime de dix heures, et 6,4 ampères-heures au régime de trois heures.

Les accumulateurs à décharge rapide (type R) fournissent par kilogramme de plomb 6,4 ampères-heures au régime de trois heures, et 4,5 ampères au régime d'une heure.

Enfin, les accumulateurs légers (type T, traction) fournissent par kilogramme de plaques une capacité de 8,5 ampères-heures au régime de trois heures, et 12,5 ampères-heures au régime de six à dix heures.

Le procédé de fabrication permet de réaliser, suivant la destination des accumulateurs, les meilleurs résultats au point de vue de la capacité et de la durée.

ACCUMULATEURS DIVERS.

Accumulateurs Union. — La Compagnie française des accumulateurs électriques *Union* fabrique dans ses ateliers de Neuilly-sur-Marne des accumulateurs du système Majert, dont le mode de construction présente un certain intérêt. L'accumulateur Majert est un accumulateur mixte dont la plaque positive est du système Planté et la plaque négative du système à oxydes rapportés. C'est surtout le mode de construction de la plaque positive qui caractérise cet élément. En l'imaginant, le Dr W. Majert, de Grünau-Berlin, s'est proposé de faire une plaque solide de grande capacité, pouvant se charger et se décharger en des temps très courts.

La plaque positive est en plomb pur et présente sur ses deux faces des nervures d'autant plus rapprochées et plus fines que les plaques sont destinées à être déchargées plus rapidement.

Ces rainures sont façonnées mécaniquement avec une grande perfection par un outil spécial. Une plaque en plomb laminé et bien dressée est attaquée obliquement par un outil, sorte de charrue, qui laboure un sillon et relève verticalement le copeau mince qu'elle détache de façon à former une bande mince adhérant par sa base à la plaque. En déplaçant ensuite latéralement l'outil d'une quantité égale à l'intervalle de deux lamelles, on obtient des sillons très réguliers et d'une grande finesse; la hauteur des copeaux relevés ou la profondeur des nervures varie de 4 à 6 millimètres. Leur nombre est de 10 à 15 par centimètre. Les plaques ainsi fabriquées sont plus homogènes et par suite plus durables que les plaques coulées. L'outil que l'on pouvait voir fonctionner à l'Exposition était une machine très perfectionnée pouvant donner avec une régularité parfaite de 30 à 35 sillons par centimètre. Avec deux machines surveillées par le même ouvrier, la vitesse de fabrication d'une plaque, à raison de dix minutes par plaque pour les deux côtés, est comparable à celle de la fabrication par coulée.

La plaque négative est du type Faure; le support est constitué par une grille qui présente deux formes différentes, l'une pour les batteries à poste fixe, l'autre pour les batteries transportables. Toutes deux portent de nombreuses nervures.

La plaque une fois coulée est laminée pour relever le bord des nervures et pour retenir l'oxyde dont on les empâte. Les éléments à décharge très rapide présentent cette particularité de pouvoir être déchargés en un quart d'heure, fournissant un courant de près de 6 ampères par kilogramme d'élément.

Le Jury a décerné à cette compagnie une médaille d'argent.

Accumulateurs Ω. — L'importante maison Geoffroy et Delore, au milieu d'une très belle exposition de câbles électriques, exposait un accumulateur spécialement étudié pour les batteries destinées à supporter des intensités élevées de charge et de décharge. L'accumulateur Ω est un type mixte, dont la positive est du genre Planté pur, et la négative du genre Faure.

La plaque positive, du système allemand Lehmann et Mann (1897), entièrement en plomb doux, sans empâtage, est constituée par une âme en zigzag de 3 millimètres d'épaisseur environ. Cette âme est entièrement recouverte par des petites lamelles perpendiculaires à l'âme, très fines et très rapprochées, qui constituent une série de piles parallèles de petits losanges séparés les uns des autres, de façon à permettre la libre dilatation. Cet écartement et la disposition de l'âme ondulée évitent le gondolement de la plaque qui a une grande surface active.

La plaque négative est à empâtage de matière active et n'offre pas d'autre caractère plus particulièrement saillant.

La capacité varie de 3,5 ampères-heures à 7 ampères-heures par kilogramme d'électrodes pour des régimes de décharge d'une à dix heures.

ACCUMULATEURS GENRE PLANTÉ À MATIÈRES RAPPORTÉES.

Accumulateurs Pulvis. — La Compagnie générale d'électricité, dont le siège social est à Paris, a obtenu une médaille d'or pour ses accumulateurs «Pulvis», fabriqués à Beauval, près Trilport (Seine-et-Marne). La production annuelle de ces accumulateurs est environ le tiers de la production annuelle des grandes usines françaises mentionnées antérieurement.

Ces accumulateurs tirent leur nom de l'emploi d'une poudre de plomb fine, obtenue par l'action d'un courant d'air violent dans le métal en fusion. Ce procédé de pulvérisation s'applique du reste à d'autres métaux que le plomb.

Les plaques peuvent être considérées comme du genre Planté en ce qu'il n'y entre que du plomb avant leur formation, mais elles doivent leur capacité à l'emploi de matière rapportée dans un grand état de division, et si, par ce côté, elles participent aux avantages du système Faure, elles en ont également l'inconvénient, qui est une solidité

moindre, inconvénient auquel on remédie en continuant à se servir des supports en plomb formés alors que la matière rapportée est tombée.

La plaque positive est constituée par un assemblage de rubans de plomb disposés en arête de poisson, et empâtée avec un mélange de poudre de plomb et de pierre ponce finement pulvérisée.

La plaque négative, qui s'use moins, a un profil différent, formé d'ailettes en queue d'aronde et empâtées avec la même poudre. La poudre de plomb, très légèrement oxydé, forme une sorte de béton constituant un scellement suffisamment adhérent.

Ces plaques fournissent, par chaque kilogramme, un courant de 2 ampères pendant quatre heures ou quatre heures et demie.

Les accumulateurs exposés étaient munis de bacs en ambroïne.

La Société anonyme d'éclairage et d'applications électriques, fondée en 1898, dont le siège est à Arras, et dont M. H. Catrice est le directeur, exposait des plaques pour petits accumulateurs de lampes portatives de mineurs, des plaques pour voitures automobiles et pour batteries à poste fixe.

Les plaques sont à matière active rapportée, mais cette matière est du plomb pur. Les cadres, au lieu d'être coulés, sont fabriqués mécaniquement. On lamine des lingots de plomb antimonié, une cisaille du type Bliss découpe des bandes dans lesquelles un découpeur Bliss découpe des flancs. Ceux-ci sont ensuite gaufrés à la machine et les alvéoles débouchées mécaniquement. Le plomb spongieux qu'on place dans ces alvéoles est préparé par électrolyse d'un bain de sels de plomb additionné de sel de soude. La matière est ensuite comprimée dans les alvéoles. On arrive ainsi à constituer des plaques d'une capacité de 25 ampères-heures par kilogramme, au régime de décharge de dix heures. Le soin avec lequel ces éléments sont construits, les modifications ingénieuses étudiées en vue d'une application locale à l'éclairage des mines dans un pays minier, avec une connaissance complète des problèmes à résoudre, ont vivement intéressé le Jury, qui a décerné à cette exposition une médaille d'argent.

Accumulateurs J. Barbier. — La maison Gourd et Dubois, fondée en 1873, exploite depuis 1893, dans son usine de Lyon et sa succursale de Paris, des accumulateurs dont la construction mérite d'attirer l'attention. La matière active est du plomb pur en poudre. Cette poudre est maintenue entre deux plaques inattaquables formant une boîte plate, et munies, à l'intérieur, de pointes venues de fonte sur les plaques et traversant toute l'épaisseur de la matière. Entre les pointes, les parois sont percées de trous pour permettre l'électrolyse. Ces dispositions rappellent celles des électrodes formées de deux grilles juxtaposées retenant la matière active, mais avec cette différence que les ouvertures sont plus réduites et que la matière paraît plus solidement retenue dans la boîte qui la contient. Après formation, la matière, qui a 6 à 8 millimètres d'épaisseur, constitue un bloc homogène qui adhère fortement aux pointes et aux parois de la boîte; elle peut alors subir des charges et décharges rapides, des courts circuits, des renver-

sements de courant, etc. La capacité, égale au début à celle des bonnes électrodes connues, s'améliore avec le temps par un travail régulier, variant de 5 à 11 ampères-heures par kilogramme d'électrodes, avec un rendement qui a atteint 92 p. 100.

Le Jury a décerné à la maison Gourd et Dubois une médaille de bronze.

Société des accumulateurs électriques à gaz sous pression et accumulateurs de haute tension, système Commelin et Viau. — Les accumulateurs exposés par cette société présentaient un intérêt particulier en raison d'une tentative de substitution aux gaz de l'eau et au sulfate de plomb d'autres matières pour emmagasiner l'énergie dépensée dans l'électrolyse. Par un choix convenable d'un électrolyte ayant une chaleur de formation considérable, et dont les éléments puissent être recueillis sans perte pour être recombinés utilement, on peut espérer obtenir à la décharge une grande force électromotrice et un rendement avantageux. Dans le système Commelin et Viau l'électrolyte est du sulfate de cadmium, mais la force électromotrice n'est pas sensiblement différente de celle des accumulateurs au plomb.

La Société exposait deux systèmes.

L'un, intitulé *accumulateur léger à haute tension,* se compose d'une plaque positive à pastille de peroxyde de plomb et d'une plaque négative formée d'une feuille de plomb recouvrant un support en matière isolante. L'électrolyte est du sulfate de cadmium, qui, pendant la charge, se décompose en cadmium qui se dépose sur la plaque négative et en oxygène qui peroxyde les pastilles d'oxyde de plomb; l'acide reste dans la dissolution. A la décharge, il y a réduction du peroxyde et dissolution du cadmium; la force électromotrice est 2,20 volts.

La plaque positive est formée d'un quadrillage en ébonite rempli de la matière active et rivé à un cadre conducteur. Les plaques négatives, destinées à recevoir le cadmium, sont formées d'une feuille de plomb de 0,2 millimètre d'épaisseur recouvrant une lame de celluloïd munie de nombreuses ailettes. Une feuille de celluloïd perforé est placée entre les plaques positives et négatives qui sont serrées les unes contre les autres. Les essais de ces plaques ont accusé une capacité allant jusqu'à 39 ampères-heures par kilogramme, mais il ne paraît pas y avoir eu d'expérience industrielle.

Le second système était exposé par la même société, sous le nom d'*accumulateur à gaz sous pression;* l'électrolyte est encore du sulfate de cadmium; l'électrode négative est en plomb antimonieux, et l'électrode positive est un charbon creux.

L'électrolyse a lieu dans un bac fermé, dans lequel plongent les électrodes, mais l'intérieur du charbon creux n'est pas en relation avec l'espace où se produit l'électrolyse. Celle-ci dépose du cadmium sur le plomb et dégage de l'oxygène. Le gaz est recueilli dans un réservoir en relation avec la cavité du charbon positif où il s'accumule sous pression et tend à traverser les pores du charbon pour se combiner à l'hydrogène au moment de la décharge.

La force électromotrice de décharge n'est que de 1 volt 5.

La Société exposait aussi un modèle industriel de pile à gaz sous pression, mais il n'a pas été fait d'expériences industrielles permettant au Jury de porter un jugement

sur la valeur pratique de cette disposition dans laquelle les gaz ne paraissent pas jouer un rôle aussi important que le pensait l'inventeur. Il a été néanmoins accordé à la maison Commelin et Viau une médaille de bronze.

La Compagnie électro-chimique, en même temps que la pile Jeanty, dont il a été question plus haut et qui lui a valu une médaille de bronze, exposait divers types d'accumulateurs que nous nous bornerons à mentionner ici.

IV

GALVANOPLASTIE.

GALVANOPLASTIE ET DÉPÔTS ÉLECTRO-CHIMIQUES DE MÉTAUX DIVERS. ARGENTURE, DORURE, NICKELAGE, CUIVRAGE, ETC.

Les dépôts métalliques obtenus par voie électrolytique, soit pour reproduire des objets moulés, soit pour recouvrir des objets d'une couche décorative ou protectrice, ont constitué pendant longtemps l'une des applications électro-chimiques les plus importantes. Aujourd'hui encore, bien que les opérations électrolytiques qui ont pour but l'extraction des métaux de leurs minerais, leur affinage ou la préparation de produits chimiques de première nécessité, aient relégué au second rang l'industrie qui nous occupe, celle-ci cependant n'a cessé de progresser.

Avant de décrire sommairement les résultats qui ont plus particulièrement appelé l'attention du Jury dans la Classe 24, je résumerai brièvement les procédés fondamentaux dont les perfectionnements successifs ont amené l'industrie au point qu'elle occupe aujourd'hui.

Galvanoplastie. — J'ai rappelé plus haut que la découverte de la galvanoplastie avait été faite simultanément, en 1838, par Jacobi en Russie et par Spencer en Angleterre. C'est en examinant, sur une lamelle de cuivre électrolytique, détachée du vase poreux d'une pile à sulfate de cuivre, la reproduction en relief des inégalités de la surface du vase, que Jacobi conçut l'idée d'appliquer les dépôts de cuivre à la reproduction des moulages; Spencer, de son côté, reproduisait des médailles; mais Jacobi alla plus loin que Spencer dans la voie des applications: il reconnut la nécessité de maintenir constante la concentration des dissolutions ; il sépara le bain de la source d'électricité, se servit comme anode d'une lame de cuivre qui, en se dissolvant, maintenait la concentration du bain. L'emploi de l'anode soluble a rendu économique le dépôt des métaux dans l'industrie. A l'origine, la galvanoplastie était limitée à la reproduction des médailles et des bas-reliefs « sans dépouille », car les moules étaient métalliques (alliage Darcet).

Jacobi découvrit qu'un corps non conducteur, recouvert d'un enduit de plombagine, pouvait recevoir un dépôt de cuivre, et dès lors un champ d'action bien plus vaste fut ouvert; toute substance plastique put servir de moule, à la condition de ne pas être attaquée par le bain. Le plâtre stéariné, la gélatine et surtout la gutta-percha furent les principales matières employées. La gutta-percha se prêta d'une manière remarquable à toutes les opérations du moulage.

La reproduction des rondes bosses a présenté de grandes difficultés. On commença par reproduire divers morceaux qu'on assemblait ensuite par de la soudure; puis on eut l'idée de réunir les différentes parties du moule et de placer à l'intérieur une lame de cuivre servant d'anode. L'usure de celle-ci rendait l'opération difficile. En 1858, Lenoir imagina de placer à l'intérieur du moule une carcasse en fil de platine, faisant fonction d'anode; le résultat fut satisfaisant à la condition d'entretenir la saturation du bain, mais la difficulté de faire les carcasses et le prix élevé du platine limitèrent l'emploi de ce procédé. Vers cette époque, Planté, dans le laboratoire de MM. Christofle et Cie, proposa la substitution du plomb au platine, dans le procédé Lenoir. Le plomb se peroxyde sans que l'altération soit profonde et sans que la surface cesse d'être conductrice. Cette substitution rendit industrielle la reproduction des objets en ronde bosse, et MM. Christofle purent ainsi exécuter des ouvrages considérables, tels que la statue de Notre-Dame de la Garde, à Marseille, qui mesure 9 mètres de haut, un des groupes qui surmonte le fronton de l'Opéra, les portes de Saint-Augustin, etc.

Pour cette galvanoplastie massive, M. H. Bouilhet a imaginé de corriger les inégalités d'épaisseur du dépôt et de le renforcer en coulant dans la coquille galvanoplastique du laiton, plus fusible que le cuivre, qui se soude au cuivre et donne une pièce qui présente les avantages d'une pièce fondue.

En dehors des reproductions artistiques, la galvanoplastie trouve une application importante dans la fabrication des clichés typographiques et dans la photogravure.

Le moulage et la reproduction en cuivre d'une gravure sur bois permettent de conserver l'original, et chaque épreuve peut fournir au tirage 80,000 exemplaires au lieu de 10,000 qu'aurait pu donner le bois primitif; M. H. Bouilhet a obtenu des clichés plus résistants en déposant d'abord du nickel, puis du cuivre pour renforcer la coquille de nickel. Pour la photogravure, on dépose le cuivre sur la gélatine bichromatée dont les reliefs sont suffisants pour obtenir une planche qui donnera des épreuves d'une grande perfection.

Le cuivre électrolytique est presque chimiquement pur; sa conductibilité est voisine de celle de l'argent; sa densité est comprise entre celle du cuivre laminé et celle du cuivre fondu, et sa structure est plus homogène et plus fine.

Le cuivre est le métal le plus facile à obtenir en couches épaisses, mais on peut obtenir des galvanoplasties d'autres métaux.

A l'Exposition centennale de l'électricité on pouvait voir des médailles d'or, d'argent, de platine, de nickel et de cobalt obtenues, en 1862, par MM. A.-C. et Ed. Becquerel, une coupe en galvano de fer exécutée en 1865 par Jacobi.

On a fait quelques applications de la galvanoplastie du fer qui se dépose facilement dans un bain de sel ferreux neutre, mais la lenteur avec laquelle doit être obtenu le dépôt, pour obtenir un métal cohérent et exempt de trous, ainsi que la grande fragilité des objets obtenus, qui se fendent quelquefois spontanément, ont empêché l'exploitation industrielle de ces dépôts.

Argenture et dorure. — De tout temps, on a cherché à donner au cuivre l'aspect de l'argent ou de l'or. Les procédés électro-chimiques sont venus remplacer avec avantage les procédés anciens.

On a rappelé la première expérience de dorure de Brugnatelli et les essais de de la Rive, en 1840; Elkington, en 1836, avait découvert un procédé de dorure et d'argenture sur cuivre par immersion, en se servant de dissolutions alcalines, et, en 1840, il appliqua ce principe aux dépôts électro-chimiques d'or et d'argent.

En développant ces procédés ainsi que ceux de de Ruoltz pour d'autres métaux, MM. Christofle ont créé l'industrie de la dorure et de l'argenture électro-chimiques. Les dissolutions métalliques employées sont des cyanures doubles alcalins soit d'or, soit d'argent. Il n'entre pas dans le cadre de ce résumé de donner plus de détails sur les méthodes de préparation des objets à argenter ou à dorer, préparation qui constitue une opération fondamentale, dégraissage, dérochage, décapage.

Pour rendre l'argenture adhérente aux alliages de cuivre, les pièces, au sortir du décapage, sont plongées pendant quelques secondes dans une solution étendue de nitrate de mercure; la couche extrêmement faible de mercure qui se dépose facilite l'adhérence de l'argent. Le dépôt d'argent est ensuite poli et bruni. On peut lui donner l'aspect vieil argent par une sulfuration ou une chloruration superficielle.

Pour déposer de l'argent sur du fer ou du nickel, il est nécessaire de déposer d'abord une mince couche de cuivre sur ces métaux.

D'après M. H. Bouilhet, en 1881, la quantité d'argent déposée annuellement dans le monde entier était de 125,000 kilogrammes. En 1890, M. André Bouilhet a pu évaluer à 84,000 kilogrammes le poids d'argent vierge employé par l'argenture aux États-Unis, et à 20,000 kilogrammes le poids d'argent employé en France; chiffres qui permettent d'évaluer à 200 tonnes par an la quantité d'argent extraite pour les besoins de l'argenture électro-chimique.

Pour la dorure, on peut varier les tons d'or rouge ou d'or vert par l'addition dans les bains de cyanure de cuivre ou de cyanure d'argent; on peut même obtenir dans les dépôts électro-chimiques l'éclat particulier des anciennes dorures au mercure qui les font rechercher par les amateurs. On dépose sur l'or une petite quantité de mercure par électrolyse, et on évapore ensuite ce mercure par la chaleur.

Nickelage. — Les méthodes de MM. Becquerel et de M. de Ruoltz, semblables à celles qu'on emploie aujourd'hui, n'avaient pas reçu d'applications industrielles en raison du prix élevé du métal et du prix de revient de l'énergie électrique.

Aujourd'hui, grâce aux machines productrices du courant et à l'abaissement du prix du nickel, l'industrie du nickelage a prix une extension considérable en raison de l'éclat et de l'inaltérabilité du métal. Le bain électrolytique employé est généralement une solution de sulfate double de nickel et d'ammoniaque.

Cuivrage. — Le cuivrage a une grande importance pour protéger le fer et la fonte

contre les agents atmosphériques. Le procédé Oudry consiste à couvrir le fer d'une peinture imperméable et plombaginée, puis à cuivrer celle-ci. On peut, d'autre part, cuivrer directement le fer dans des bains alcalins.

Dépôts de fer. — A.-C. Becquerel avait proposé de recouvrir le fer de peroxyde pour le protéger contre une oxydation ultérieure, mais l'aspect sombre des pièces n'a pas fait appliquer ce procédé, surtout en présence de la possibilité de recouvrir les pièces avec du nickel.

Une autre application a été l'aciérage des clichés et des rouleaux d'impression pour donner plus de dureté et permettre des tirages plus nombreux avec une même planche, mais, dans cette voie aussi, le dépôt de nickel doublé de cuivre est venu se substituer au dépôt de fer.

MM. Christofle et Cie. — Fondée en 1842, par M. Ch. Christofle, la maison Christofle et Cie, dirigée aujourd'hui par MM. P. Christofle et Henri Bouilhet, fils et neveu du fondateur, avec le concours de M. André Bouilhet, a toujours été à la tête de l'industrie qu'elle a créée, l'orfèvrerie électro-chimique. Après avoir obtenu toutes les grandes récompenses dans toutes les expositions antérieures, elle était hors concours à l'Exposition de 1900. Refaire son histoire serait refaire toute l'histoire des applications et des perfectionnements de la galvanoplastie et des dépôts galvaniques; les procédés que nous avons rappelés plus haut sont pour la plupart ceux de la maison Christofle, et nous avons dit comment, dans ses ateliers, avait pris naissance et avait été développée l'industrie de la reproduction des objets en ronde bosse.

Pour se rendre compte des objets qui composaient la très belle exposition de MM. Christofle et Cie, il convient d'ajouter quelques détails sur divers procédés. Ainsi, dans le moulage à la gutta-percha, si les objets à mouler ne peuvent supporter une légère pression, on peut, comme l'a indiqué M. Pellecat, chauffer la gutta jusqu'à la fusion, et la couler sur le modèle comme on coulerait de la cire. Ce procédé a permis de reproduire à terre perdue des œuvres modelées en argile plastique, telles qu'elles sortaient des mains du sculpteur.

La collection de moulages sur nature exécutés par la maison Christofle montrait le degré de perfection que peuvent atteindre les reproductions galvaniques. On pouvait admirer des ornements en bronze galvanique doré, représentant des iris moulés sur nature depuis la racine jusqu'à la fleur, des oiseaux, un coq, un hibou, des canards, de nombreux reptiles et insectes, couleuvres, lézards, grenouilles, etc. En voyant avec quelle netteté et quelle précision étaient reproduites les écailles, les plumes et jusqu'au velouté des feuilles, on comprend que le ciseleur le plus habile n'aurait jamais pu tenter une reproduction aussi parfaite de la nature.

En songeant alors que les couleurs de ces écailles ou de ces plumes ne sont pas toutes dues à des pigments, mais sont produites en partie par des effets de diffraction dus à des stries très fines comme celles que présentent les réseaux des physiciens, on

peut se demander si le défaut de finesse du moulage ou la grosseur du grain du dépôt ne sont pas les seuls obstacles à la reproduction de ces couleurs qui achèveraient de parer ces objets d'art.

Des dépôts sur porcelaine ou sur cristal s'obtiennent en dessinant d'abord les ornements avec un vernis contenant du nitrate d'argent ou du chlorure d'or; on réduit alors le sel par la chaleur de la moufle, et la petite couche d'or ou d'argent ainsi formée suffit pour permettre de déposer des épaisseurs aussi grandes que l'on voudra de cuivre, d'argent ou d'or qui, rehaussés par la gravure, font un décor d'un très bel effet.

Enfin, on ne saurait passer sous silence les merveilleuses pièces d'orfèvrerie où l'électro-chimie vient en aide à l'artiste. On obtient sur un même objet divers tons d'or et d'argent, en recouvrant d'un vernis protecteur les parties qu'on veut conserver en argent par exemple, et on dépose l'or sur le reste. En répétant l'opération et en portant successivement l'objet aux bains d'or rouge, d'or vert, etc., on pourra réunir sur un même objet des teintes diverses et en tirer un excellent parti pour le décor des vases et des bijoux. On peut de la même façon faire de véritables damasquinages en gravant des ornements, soit au burin, soit à l'eau-forte, soit électro-chimiquement, et en remplissant les sillons ainsi obtenus par des dépôts épais d'argent ou d'or; lorsque le dépôt a dépassé la surface de l'objet, on l'use à la lime douce et l'on obtient ainsi de très belles incrustations.

Ajoutons encore qu'un grand prix de collaborateur a été accordé à M. Gélis, et des médailles d'argent à MM. Bazinet et Renard.

Les explications dans lesquelles nous venons d'entrer rendent superflue la description de la plupart des procédés employés par les divers exposants; nous mentionnerons cependant au passage les procédés particuliers qui paraîtraient devoir attirer l'attention. Parmi les exposants d'objets ou de décors obtenus par la galvanoplastie, nous citerons la maison Alvin manufacturing C°, de New-York, qui, aux Invalides, exposait des décors de vases de verre, formés par de l'argent déposé électrolytiquement sur le verre. Une médaille d'or a été attribuée à cette exposition.

Une médaille d'or a également été décernée à MM. Delval et Pascalis, successeurs de A. de Plazanet, qui lui-même avait repris l'ancienne maison Roseleur dont l'origine remonte à 1845. A côté de spécimens d'installations galvanoplastiques avec accessoires divers, on peut citer parmi les pièces intéressantes des spécimens de dorure, argenture, nickelage, cobaltage, cuivrage, étamage, palladiage, et de divers décors, des dépôts galvanoplastiques épais d'or, d'argent, de nickel, ainsi que du zingage sur cuivre et sur acier.

Enfin une autre médaille d'or a été attribuée aux Établissements S. Grauer et Cie, à Paris et Puteaux, société anonyme ayant des succursales à Bruxelles et à Londres. L'attention du Jury s'est spécialement portée sur un procédé de nickelage et de polissage au tonneau, procédé permettant aux fabricants de petits articles de toute espèce de nickeler, de cuivrer, etc., à bon marché, une très grande quantité de petits objets : aiguilles, épingles,

rayons de bicyclettes, boulons, bouclerie, plumes métalliques, vis, écrous, rivets, agrafes, boutons, chaînes, etc., puis sur la fabrication de briquettes à polir dont l'emploi paraît rendre de grands services soit par une meilleure utilisation des matières, soit au point de vue hygiénique en évitant aux ouvriers la respiration des poussières nuisibles à l'organisme. Les efforts de cette société qui fabrique elle-même son matériel ont paru dignes de tout l'intérêt du Jury.

M. Sherard Cowper-Coles, de Londres, qui a obtenu une médaille d'argent, a tout particulièrement retenu l'attention du Jury par l'importance et la variété des applications auxquelles il s'est livré. Nous ne citerons ici que ses procédés de galvanisation électrique ou de zingage du fer, et nous reviendrons plus loin sur les méthodes électro-métallurgiques Cowper-Coles, ainsi que sur une intéressante application des dépôts électrolytiques à la fabrication de réflecteurs paraboliques. Le zingage du fer pour réaliser un dépôt adhérent et homogène nécessite des opérations multiples dont l'une des plus importantes est le décapage, qui doit être très soigné. M. Cowper-Coles a amélioré les procédés en usage, soit en employant l'électrolyse, soit en faisant usage d'un électro-aimant plongé dans le bain dans le double but d'arracher les écailles des pièces et d'enlever du bain les écailles détachées pour diminuer la dépense d'acide, soit encore en dirigeant sur la surface des objets un courant d'air sous pression, entraînant du sable fin. Les pièces décapées sont alors placées dans un bac d'électro-déposition, contenant une solution de sulfate de zinc. La solution qui s'appauvrit en zinc et devient acide est reprise et régénérée en passant sur des fragments de zinc en poudre, puis elle revient au bac électrolytique. La nature et l'adhérence du dépôt varient avec l'acidité des bains et la densité du courant; les dépôts obtenus en solution acide sont plus adhérents, mais moins uniformes que ceux que l'on obtient dans une solution neutre; pour profiter des deux avantages, on commence le dépôt dans un bain acide et on le continue dans un bain neutre. On peut aussi commencer par relier les lames de fer à zinguer à l'anode de façon à dissoudre la couche d'oxyde formée au moment de l'immersion, puis on renverse le courant. Nous bornons ici ces détails pour revenir plus loin sur les autres applications présentées dans cette intéressante exposition.

M. Edmond Bertrand fils, successeur de M. H. Bertrand, fabricant de galvanoplastie d'art, à Paris, a exposé de belles pièces d'orfèvrerie parmi lesquelles on peut signaler une aiguière venue d'une seule pièce, un coffret orné de statuettes et obtenu par un moule d'un seul morceau, pièces qui ont valu à M. Bertrand une médaille d'argent.

M. Foras, successeur de la maison Lionnet, à Paris, dont l'exposition a mérité également une médaille d'argent, a exposé une grande variété d'objets d'art obtenus par la galvanoplastie : des statues, statuettes, vases, coffrets artistiques, des pièces d'ameublement, chutes, guirlandes, frises, etc., en particulier pour des pendules, des galvanos de métaux purs pour orfèvres et bijoutiers, puis des spécimens de cuivrage galvanique de cristaux et verreries, de statuettes en terre cuite, en plâtre, et enfin des reproductions de moulages sur nature.

Je cite seulement ici, pour mémoire, parmi les médailles d'argent, la maison Dujardin,

célèbre par ses procédés si parfaits d'héliogravure, et qui exposait quelques très belles planches.

D'intéressants essais de bains électrolytiques particuliers, mais dont le principe était déjà connu pour le dépôt de divers métaux, bains contenant comme dissolvant, soit principal, soit accessoire, de la glycérine, ainsi que la substitution de sels organo-métalliques aux sels employés ordinairement, ont été présentés par M. Bernhard Hoffmann, ingénieur à Paris, mais dont l'usine est dans le grand-duché de Luxembourg. Le Jury a attribué à M. Hoffmann une médaille d'argent.

Une médaille d'argent a été attribuée à MM. Martinet, Dessolle et Cie, exposant leur produit l'électro-bronze qui consiste en un cuivrage adhérent et relativement épais d'objets en fer, en fonte ou en zinc. MM. Martinet et Dessolle n'ont pas indiqué le procédé spécial qu'ils emploient pour assurer l'adhérence du cuivre, mais les objets exposés, statues, cheminées, vases, candélabres, rampes, en partie cuivrée, tôle de fer cuivrée et ustensiles de ménage en zinc cuivré, ont paru de nature à justifier la récompense qui leur a été accordée.

M. Rivaud, fabricant de bijoux d'art, à Paris, a obtenu également une médaille d'argent pour ses objets en galvanoplastie d'or applicables à la bijouterie et pouvant s'émailler.

Signalons encore la médaille d'argent obtenue par Mme Zipélius-Gaiffe, successeur de A. Gaiffe, l'une des premières maisons qui aient appliqué le nickelage. Cette maison exposait de très belles pièces cuivrées et nickelées, soit pièces d'art, soit pièces d'industrie, quincaillerie, verrerie, sellerie, vélocipédie, etc. Parmi les dépôts intéressants, on doit citer les dépôts de cobalt oxydé dont la solidité et la patine artistique attirent aujourd'hui l'attention.

Il importe de mentionner encore, comme ayant obtenu des médailles de bronze, MM. Boudreaux, pour ses clichés galvanoplastiques nickelés; Bourdin, qui, outre la pile dont il a été question dans un chapitre antérieur, exposait en particulier des applications des procédés Michaud pour galvano-gravure, par photographie et mucilages; Chesneau, pour diverses pièces d'orfèvrerie argentées et dorées; Viet, qui présentait une heureuse application de reproduction galvanique de feuilles et de fleurs pour la confection de feuillages artificiels.

La Société française de métallurgie hydro-électro-chimique, à Paris, a obtenu une médaille de bronze pour ses dépôts adhérents sur fer, de métaux divers, zinc, plomb, étain, etc., par l'application des procédés de M. Quintin Marino, qui emploie soit des bains glycériques, soit l'électrolyse de sels métalliques avec acides organiques appropriés au métal à déposer.

Enfin, en terminant l'exposé rapide des applications galvanoplastiques proprement dites, nous ne saurions oublier un appareil intéressant, sinon indispensable, le balancier galvanogrammètre de M. Ducot, balance donnant à chaque instant le poids de métal déposé sur une pièce ou sur une série de pièces suspendues à l'instrument, et arrêtant le courant lorsqu'un poids déterminé a été déposé. Le Jury a décerné à M. Ducot une médaille de bronze.

V

ÉLECTROLYSE.

FABRICATION ÉLECTROLYTIQUE DES ALCALIS ET DES SELS ALCALINS.

Pendant longtemps l'industrie de la soude et des produits qui en dérivent n'a employé exclusivement que des procédés chimiques. Depuis que la production du courant électrique est devenue industrielle, la fabrication électrolytique des alcalis, extension de l'expérience fondamentale de Davy, a acquis un tel développement qu'elle partage aujourd'hui, avec le carbure de calcium dont nous parlerons plus loin, le premier rang des industries électro-chimiques.

Les conditions qui provoquent ou limitent tour à tour l'extension des méthodes électrolytiques sont d'un ordre purement économique et dépendent du débit des sous-produits que donnent les divers procédés.

Les procédés chimiques de fabrication de la soude se rapportent à deux types principaux, le procédé Leblanc et le procédé à l'ammoniaque.

Le procédé Leblanc, imaginé à la fin du siècle dernier, vers 1790, consiste à transformer le sel marin en carbonate de soude, en passant par l'intermédiaire du sulfate de soude. Ce procédé, qui a reçu des perfectionnements multiples, nécessite l'emploi d'appareils encombrants. Il donne comme sous-produits de l'acide chlorhydrique d'où l'on peut extraire le chlore, soit par le bioxyde de manganèse (procédé Weldon), soit par oxydation par l'air, en présence du chlorure de cuivre (procédé Deacon); il peut encore fournir directement le sulfate de soude nécessaire à certaines industries. Le soufre de l'acide sulfurique qui sert d'intermédiaire, et qui reste dans les marcs de soude à l'état de sulfure de calcium, peut être régénéré.

Le procédé à l'ammoniaque dont la première idée est attribuée à Fresnel (1811) a été constitué vers 1855 par MM. Schlœsing et Eugène Rolland. Il consiste à faire réagir dans l'eau du bicarbonate d'ammoniaque sur du sel marin. Par double échange, du bicarbonate de soude prend naissance et se précipite en poudre cristalline. Il reste en dissolution du sel non décomposé, du chlorhydrate et du bicarbonate d'ammoniaque. Au lieu d'employer du bicarbonate fait d'avance, on peut dissoudre de l'ammoniaque dans de l'eau salée et saturer ce mélange d'acide carbonique.

Le bicarbonate de soude est ensuite ramené par la chaleur à l'état de carbonate. On peut retirer du chlorhydrate la totalité de l'ammoniaque en le traitant par la chaux; le chlorure de calcium qui reste comme résidu est inoffensif. Dans ce premier procédé on

perd le chlore et on n'utilise que les deux tiers du sel marin dissous. Au début, des exigences fiscales relatives à l'application d'un impôt sur la totalité du sel dissous empêchèrent le développement de ce procédé en France. Il fut repris et perfectionné en Belgique, par MM. Solvay qui contribuèrent puissamment à en faire une industrie aujourd'hui florissante.

Nous n'avons pas à décrire ici les procédés de MM. Solvay ni les appareils qui leur permirent de réduire considérablement les pertes d'ammoniaque, non plus que les nouveaux perfectionnements apportés, dans le même but, par M. Schlœsing à son procédé en se servant du bicarbonate d'ammoniaque solide, ainsi que la méthode d'extraction du chlore fondée sur la substitution de la magnésie à la chaux dans le traitement du chlorhydrate d'ammoniaque des résidus.

Les principes que nous venons de rappeler suffisent pour montrer les différences essentielles des deux méthodes chimiques. Le procédé à l'ammoniaque évite les appareils encombrants et donne des résidus inoffensifs. Le procédé Leblanc, même avec tous ses perfectionnements, est plus cher, mais il donne du chlore ou de l'acide chlorhydrique et aussi du sulfate de soude. Cette raison a empêché le procédé Leblanc de disparaître et, entre l'exploitation des deux procédés, il s'est établi une sorte d'équilibre dont les conditions sont déterminées par les besoins d'acide chlorhydrique dans l'industrie. Nous allons voir que ce sont des conditions analogues qui règlent la production électrolytique.

L'électrolyse d'une solution aqueuse de chlorure de sodium donne, à la cathode, du sodium et de l'hydrogène; à l'anode, du chlore et de l'oxygène. Le sodium en présence de l'eau donne de la soude et un nouveau dégagement d'hydrogène.

Si les éléments soude, chlore, hydrogène, oxygène, sont maintenus en présence, il peut se produire les réactions suivantes : formation d'hypochlorite par l'action du chlore sur la soude; formation du chlorate par l'oxydation de l'hypochlorite; électrolyse de l'hypochlorite avec formation de soude, d'acide hypochloreux et d'oxygène, ou réduction des hypochlorites, ou encore réduction du chlorate. Il peut encore se produire des perchlorates. Ces réactions dépendent de la température, de la densité du courant et de l'alcalinité des solutions. Elles sont la base de plusieurs industries, soude ou potasse caustiques, chlorates et perchlorates, hypochlorites.

Pour éviter l'action du chlore sur l'alcali, on peut employer plusieurs procédés; les deux principaux sont : l'un, l'emploi d'un diaphragme poreux séparant les liquides qui entourent l'anode et la cathode; l'autre, l'emploi du mercure à la cathode comme l'avaient fait Berzelius et Davy (procédés Castner-Kellner, Solvay, etc.). Le métal alcalin s'y diffuse; on l'en retire ensuite par un lavage à l'eau. Un troisième procédé consiste à former à la cathode un alliage de plomb et de sodium, que l'on décompose ultérieurement par l'eau. Nous parlons plus loin de ce procédé (procédé Hulin).

Le chlore gazeux est recueilli et utilisé pour fabriquer du chlorure de chaux.

Par l'emploi d'un diaphragme poreux ou d'une membrane on obtient facilement à l'anode un liquide saturé de chlore, et à la cathode une solution alcaline. Le mélange

par diffusion de ces deux solutions donne de l'hypochlorite, qui se réduit lui-même facilement, en chlorure à la cathode, et en chlorate à l'anode.

Les difficultés rencontrées ont été le choix des électrodes en charbon qui sont plus ou moins attaquées par le chlore; le choix des diaphragmes qui doivent être suffisamment poreux et bons conducteurs de l'électricité.

Enfin on ne peut décomposer qu'une fraction du chlorure de sodium, 14 p. 100 environ, car au-dessus d'une densité déterminée de la solution, la soude produite tend à s'électrolyser.

Si l'on veut obtenir une solution d'hypochlorite très concentrée, la densité du courant doit être élevée aux deux pôles. D'après M. OEttel, en employant un courant de 1,400 ampères par mètre carré, on n'a pas dépassé 12,7 gr. de chlore par litre.

Pour la formation des chlorates, les solutions doivent être concentrées et chaudes, la densité élevée à la cathode pour réduire au minimum la réduction en chlorure, et faible à l'anode pour favoriser l'oxydation (Gall et de Montlaur. — Haussermann et Naschold).

Il convient encore de signaler une propriété importante des solutions d'hypochlorite préparées par voie électrolytique. Celles-ci auraient une action blanchissante beaucoup plus énergique que les solutions de chlorure de chaux de même titre chlorométrique. On a attribué cette propriété à l'existence d'acide hypochloreux libre dans ces solutions.

Ce résumé rapide montre quelles sont les applications de l'électrolyse des chlorures alcalins qui constitue aujourd'hui une industrie florissante.

Il ne s'ensuit pas cependant que les méthodes chimiques aient été complètement abandonnées. M. Solvay, qui par son procédé fabrique la soude au meilleur marché, a monté concurremment à son ancienne fabrication une installation électrolytique dont nous allons parler, et il fait prédominer l'une ou l'autre fabrication suivant les besoins du moment, le procédé Solvay donnant la soude à meilleur compte mais sans chlore, tandis que par l'autre méthode le chlore et ses sous-produits peuvent compenser et au delà le prix de revient de la soude électrolytique.

On ne saurait terminer cette énumération sans mentionner une application en grand de l'emploi d'un diaphragme poreux, bien qu'elle n'ait pas figuré à l'Exposition; il s'agit du procédé dit *de Griesheim*. Ce procédé consiste dans l'électrolyse de solutions de chlorure de sodium ou de potassium, dans des bacs en tôle servant de cathode avec anodes en charbon et plaques poreuses à base de ciment. Le procédé fonctionne avec grand succès pour la soude et surtout pour la potasse. Il est appliqué à Bitterfeld et à Neuhausen, et un procédé analogue est utilisé à Monthey (Valais). La presque totalité de la potasse caustique est ainsi produite en Allemagne. Le procédé au mercure fournit l'alcali pur, mais si cette condition n'est pas requise on estime généralement que, pour la production, l'autre procédé est supérieur.

Nous allons maintenant donner quelques détails plus particuliers aux exposants qui avaient soumis leurs produits au Jury de la Classe 24.

Deux grands prix ont été décernés, l'un à la Société *Solvay et Cie*, l'autre à la *Société*

d'électro-chimie; deux sociétés, la *Volta suisse* et la *Volta lyonnaise,* étaient hors concours, et une médaille d'or a été attribuée à la maison Corbin. La société anglaise *Chloride electrical storage*, titulaire d'une médaille d'or pour l'ensemble de son exposition, exposait avec les piles dont il a été question l'intéressant électrolyseur de M. Rhodin.

MM. Solvay et Cie, de Bruxelles. — Nous venons de dire qu'un grand prix avait été attribué à la maison Solvay et Cie, de Bruxelles. M. Solvay, auquel l'industrie de la soude doit une grande partie de son développement actuel et qui est à la tête d'une des plus importantes fabriques du monde, était qualifié, plus que tout autre, pour faire un essai décisif de la valeur industrielle du procédé électrolytique de fabrication de la soude.

Après s'être associé l'importante société anglaise The Castner-Kellner Alkali Co, qui à Weston Point, Runcorn, emploie pour la production des alcalis et du chlore le procédé Castner dans lequel on utilise un amalgame, M. Solvay a perfectionné le procédé en formant la cathode d'une sorte de rivière de mercure dont la surface continuellement renouvelée entraîne l'amalgame qui n'y pénètre pas profondément. L'appareil de M. Solvay est un appareil à marche continue, dont les dimensions peuvent être aussi grandes qu'on le voudra; il peut servir à l'électrolyse des chlorures ou d'autres sels alcalins; la cathode en mercure est caractérisée par le mouvement principalement superficiel du mercure chargé de métal alcalin, celui-ci se déversant par un trop-plein placé à l'extrémité, et rentrant après régénération dans l'appareil à l'extrémité opposée, par la partie inférieure. Le liquide contenant le sel en dissolution est animé d'un mouvement dans le même sens.

L'installation du nouveau procédé de M. Solvay constitue l'une des expériences les plus importantes relatives à la valeur industrielle du procédé électrolytique et nous avons eu occasion de dire que pour le moment les résultats servaient, concurremment avec l'autre procédé Solvay, à maintenir une sorte d'équilibre entre le marché de la soude et celui du chlore.

La Société d'électro-chimie a été fondée en 1889, en vue d'exploiter les procédés *Gall* et *de Montlaur* pour la préparation électrolytique des chlorates de potasse et de soude.

Après un essai industriel à l'usine de Villers par Hermes (Oise), en 1886, les inventeurs ont créé la première usine à Vallorbe (Suisse), utilisant aujourd'hui environ 3,000 chevaux. La Société d'électro-chimie a créé ensuite une usine à Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie) utilisant 5,000 chevaux.

Elle fabrique spécialement du chlorate de potasse et du chlorate de soude, puis en même temps d'autres produits tels que le persulfate de potasse, le permanganate de potasse, le perchlorate de soude, d'ammoniaque, le persulfate d'ammoniaque préparé par l'électrolyse directe du sulfate d'ammoniaque par la méthode de M. Berthelot, etc., et enfin, accessoirement, du carbure de calcium.

Quelle que soit la façon dont on considère le mécanisme de l'électrolyse, il semble

IMPRIMERIE NATIONALE.

hors de doute que la méthode électrolytique l'emporte sur les méthodes purement chimiques pour la transformation des chlorures alcalins en chlorates.

Les premiers appareils installés en 1886 par MM. Gall et de Montlaur étaient pourvus de diaphragmes et les liquides des deux compartiments de composition différente. Il fut reconnu dans la pratique qu'il suffit de protéger la cathode soit par de l'amiante, soit par des diaphragmes naturels, constitués par des dépôts chimiques tels que l'hydrate de chaux. Les appareils actuels consistent en une série de bains, construits d'abord en pierre de Volvic, puis plus tard en ciment armé. Ces bains sont montés en série et reçoivent le courant d'une dynamo de 150 à 200 volts. Dans quelques installations, on est allé jusqu'à 700 volts, mais l'emploi de tensions aussi élevées présente quelques inconvénients.

Chaque bain est muni de son électrode, pour laquelle les dispositifs les plus variés ont été étudiés. Cette électrode constitue l'une des parties les plus importantes d'une fabrique de chlorate, car le platine seul a pu être conservé à l'anode, et le prix de revient est fonction des frais d'entretien de l'appareil et de l'utilisation plus ou moins intense de celui-ci. Les diverses usines françaises de fabrication du chlorate utilisent aujourd'hui 600 kilogrammes de platine. Dans un travail bien conduit, l'usure des anodes est très faible et devient presque négligeable dans le prix de revient.

Dans la fabrication du chlorate de potasse, on utilise le peu de solubilité de ce sel pour la séparation du produit fabriqué. Les bains sont alimentés régulièrement par une solution concentrée de chlorure de potassium, et le liquide fournit jusqu'à 80 grammes de chlorate par litre. On le sépare par refroidissement. La quantité de liquide en roulement est relativement considérable et atteint des centaines de mètres cubes dans une usine un peu importante.

Pour la fabrication du chlorate de soude, qui a pris depuis quelques années une grande importance, on opère un peu différemment; on poursuit l'enrichissement des liquides en chlorate jusqu'à une plus forte concentration, 300 grammes par litre, et on utilise pour la séparation du chlorate de soude et du sel non transformé les données très précises dues à M. Schlœsing. Les évaporations et le pêchage du sel sont effectués dans des appareils à double effet, analogues à ceux qu'on utilise en sucrerie, mais où les tubes de laiton sont remplacés par des tubes de fer ou de fonte. On obtenait, au début, environ 1 kilogramme de chlorate par cheval électrique et par jour, rendement qui est aujourd'hui sensiblement dépassé. Un grand progrès a été réalisé depuis deux ans à la suite des recherches de M. Miller; l'addition d'une petite quantité de bichromate (1 gramme par litre) dans les électrolytes évite l'influence destructive de la réduction cathodique sur les produits de l'oxydation à l'anode.

La facilité avec laquelle on prépare les chlorates a permis d'étendre la méthode aux perchlorates par l'électrolyse des chlorates.

La Société d'électro-chimie s'est attaché le concours de M. Hulin pour la préparation du sodium et du plomb-sodium. Après avoir remarqué que dans l'électrolyse par fusion ignée de la cryolithe, si l'on se sert d'une cathode en plomb, on obtient un alliage de

plomb et de sodium, M. Hulin eut l'idée de rechercher si, en électrolysant le sel marin avec une cathode en plomb, on n'obtiendrait pas le même alliage. Après bien des essais et des difficultés vaincues, il reconnut la nécessité de mettre dans le bain du chlorure de plomb pour absorber l'excès de sodium qui se produit, chlorure qui se forme dans l'électrolyse elle-même par l'emploi d'anodes auxiliaires en plomb, donnant des courants dérivés, alors que l'anode principale est en charbon et la cathode en plomb. On obtient ainsi un alliage très avide d'humidité qui, au contact de l'eau, donne une lessive de soude et du plomb spongieux qui se peroxyde facilement à l'air. Ce procédé est intéressant en ce qu'il fait jouer au plomb le rôle que le mercure joue dans le procédé Castner; le plomb-sodium est décomposé par la quantité d'eau théorique, de sorte qu'on obtient directement sans aucune dépense de combustible la soude caustique fondue qu'on sépare de la couche de plomb métallique. Avec le concours de M. Hulin, la Société d'électro-chimie a commencé la fabrication du sodium et du plomb-sodium pour les applications qui réclament l'emploi des métaux alcalins.

Enfin, la Société avait exposé des échantillons de titane obtenu par la méthode de M. Moissan, puis du chrome et du manganèse purs préparés par les procédés alumino-thermiques du Dr Goldschmidt dont il sera question plus loin.

La Société d'électro-chimie a obtenu un grand prix.

La Société Corbin et Cie fabrique, à Chedde (Haute-Savoie), des chlorates de potasse, de soude, de baryte, des perchlorates de potasse, de soude et d'ammoniaque, et à Lancey (Isère), des celluloses écrues au bisulfite de chaux et blanchies par l'électrolyse.

A Chedde, la puissance utilisée est de 12,000 chevaux. Les procédés employés sont ceux de M. P. Corbin. Accessoirement l'usine fabrique du carbure de calcium. Les chlorates et perchlorates servent en particulier à la fabrication d'explosifs qui présentent des qualités spéciales de sécurité de fabrication, de conservation et d'emploi.

A Lancey où 500 chevaux sont constamment utilisés, le blanchiment des celluloses a été effectué au début par les procédés Hermite qui ont été abandonnés depuis 1891. Le procédé et les appareils actuels, qui ne comportent pas l'emploi de chlorure de magnésium, sont dus à M. P. Corbin et fonctionnent depuis 1891. L'électrolyseur Corbin consiste en une cuve rectangulaire divisée en compartiments par des lames de platine montées sur des cadres isolants; les feuilles extrêmes sont seules reliées à la machine, de sorte que les feuilles intermédiaires fonctionnent comme anode sur une face et comme cathode sur l'autre face. L'électrolyse est une solution de sel marin. Les électrolyseurs ont treize plaques de platine; ils marchent à 120 volts avec une intensité de 150 ampères. La solution électrolytique sert indéfiniment; on compense seulement par addition de sel les pertes par entraînement mécanique (20 kilogrammes pour 100 kilogrammes de pâte blanchie).

La solution passe, au sortir de l'électrolyseur, dans un bassin refroidissant, puis tombe dans la pile blanchisseuse; elle passe ensuite dans un réservoir d'où une pompe centrifuge la ramène à l'électrolyseur. L'effet utile de chaque appareil est le blanchiment extra-blanc de 750 kilogrammes de pâte au bisulfite en vingt-quatre heures.

L'électrolyseur présente sur celui de M. Hermite des perfectionnements relatifs aux connexions qui sont mises à l'abri de toute détérioration, mais il ne semble pas que le rendement en soit supérieur. Toutefois ce rendement est très suffisant pour justifier le remplacement du blanchiment au chlorure de chaux par le blanchiment électrolytique dans les usines où la force motrice est à bon marché.

Le Jury a décerné à la Société Corbin et Cie une médaille d'or.

Les deux usines de la Société d'électro-chimie et l'usine de MM. Corbin produisent annuellement près de 6,000 tonnes de chlorate de potasse et de soude.

Appareil électrolytique Rhodin. — La Compagnie anglaise The Chloride electrical storage syndicate, limited, de Clifton Junction, près Manchester, exposait à côté des accumulateurs électriques dont la fabrication lui a valu une médaille d'or, un appareil électrolytique à cathode de mercure dont la disposition, imaginée par M. Rhodin, est intéressante. Le principe des appareils de M. Rhodin est de former la cathode par une couche de mercure recouverte d'une couche d'eau et placée au fond d'un réservoir cylindrique en fer animé d'un mouvement de rotation autour de son axe. L'amalgame alcalin plus léger est entraîné par la force centrifuge vers les bords de la cuve et y est réduit par l'eau. Le compartiment anodique est formé d'une cuve de plus petit diamètre plongeant dans le mercure et reçoit la solution saline, de sorte qu'au-dessus du mercure la région centrale contient la solution saline, et la région annulaire périphérique ne contient, au début, que de l'eau qui se transforme en lessive alcaline par son action sur l'amalgame refoulé par la force centrifuge. L'appareil est d'une conception très simple qui paraît donner de bons résultats. Le compartiment anodique a une construction différente suivant qu'on électrolyse un chlorure ou un sulfate.

Dans le cas du chlorure, il constitue une cloche percée de trous par lesquels le chlore s'échappe dans la cuve qui est étanche, et ce gaz est ensuite conduit dans des chambres à chlorure de chaux.

Si l'on électrolyse un sulfate, on se sert comme anode d'une tige de cuivre et il se forme du sulfate de cuivre qui, par une nouvelle électrolyse, peut donner du cuivre et de l'acide sulfurique.

L'électrolyse du chlorure de sodium se fait à chaud à une température voisine de 100 degrés pour diminuer la quantité de chlore dissous, augmenter l'action réductrice de l'eau sur l'amalgame et diminuer la résistance électrique des liquides.

Le rendement de cet appareil paraît très bon et l'idée d'une circulation du mercure entretenue par la force centrifuge méritait d'être signalée.

Citons encore deux sociétés hors concours par la présence dans les Jurys de plusieurs de leurs administrateurs : la Volta suisse et la Volta lyonnaise.

La première, fondée en 1897, exploite depuis 1899 à Chèvres, près de Genève, où elle utilise 1,000 chevaux, les procédés Outhenin, Chalandre fils et Cie pour la fabrication de la soude et du chlore par électrolyse du sel marin, procédés qui comportent

l'emploi d'un diaphragme; elle fabrique en outre du carbure de calcium, ainsi que divers produits du four électrique.

La seconde, fondée en 1898, a acheté et aménagé la chute de Saint-Marcel, près de Moutiers (Savoie), et se proposait d'exploiter également les procédés Outhenin, Chalandre fils et Cie. La fabrication n'était pas commencée au moment de l'ouverture de l'Exposition de 1900.

ÉLECTRO-MÉTALLURGIE DU CUIVRE.

Lorsqu'on décompose par électrolyse un sel métallique en employant comme anode soluble le même métal que celui qui forme le sel, la dissolution de ce métal au pôle positif fournit une quantité d'énergie égale à celle qui est nécessaire à l'électrolyse du sel, de sorte que la plus faible force électromotrice suffit pour fournir l'énergie supplémentaire nécessaire à l'entretien du courant, et peut ainsi effectuer l'électrolyse. Le métal dissous à l'anode devrait se retrouver en entier déposé à la cathode. En réalité, des réactions secondaires dues à l'électrolyse du dissolvant altèrent plus ou moins cette égalité théorique.

Au travers d'un mélange de plusieurs sels, une force électromotrice suffisamment faible pourra décomposer un seul des sels, laissant l'autre dans la dissolution.

Ces principes ont conduit à des procédés industriels de préparation du cuivre pur par l'électrolyse du sulfate. Ces procédés ont pris une assez grande importance en raison des qualités du cuivre pur et, en particulier, de l'augmentation considérable de la conductibilité électrique du cuivre débarrassé d'oxydule sur la conductibilité du cuivre impur.

Le cuivre brut contient, entre autres impuretés, du fer, de l'argent et de l'or. Il contient aussi des proportions variables d'oxydule, et depuis longtemps on avait amélioré la conductibilité électrique par la formation d'alliages détruisant l'oxydule (bronzes siliciés, etc.).

La méthode générale d'affinage du cuivre consiste à électrolyser le sulfate en prenant pour anodes des lingots de cuivre brut. Si la force électromotrice est faible, le fer qui se dissout dans le bain électrolytique ne se dépose pas sur la cathode : l'argent et l'or ne se dissolvent pas dans le bain et tombent au fond de la cuve sous forme de boue que l'on traite ultérieurement, et sur la cathode il se dépose du cuivre pur.

L'état du cuivre ainsi déposé dépend des conditions de l'électrolyse; la densité du courant, l'état d'alcalinité ou d'acidité, le degré de concentration, la température des bains où se fait l'électrolyse, la présence de sels étrangers, ont des influences importantes sur la qualité des dépôts. D'après des expériences de M. Fœrster, la ténacité du cuivre déposé à une température de 35 à 40 degrés serait particulièrement grande si l'électrolyse ne contient pas de sels étrangers.

Lorsqu'il ne s'agit que de l'affinage, on opère généralement avec une solution de sulfate chaude, vers 40 degrés, ce qui a l'avantage de diminuer la tension du bain tout

en conservant des densités de courant très grandes; on ne risque pas ainsi d'atteindre les tensions pour lesquelles la pureté du cuivre s'altère. En outre, la boue d'argent qu'on obtient à 40 degrés est beaucoup plus riche en argent et plus pauvre en cuivre que celle qui est obtenue à la température ordinaire pour une densité de courant égale.

En dehors de la pureté on s'est proposé de donner au cuivre électrolytique des qualités mécaniques comparables à celles du cuivre fondu, afin de pouvoir l'utiliser sans lui faire subir un nouveau traitement métallurgique.

On a cherché à donner au dépôt de cuivre plus de cohésion en exerçant une action mécanique sur le métal au moment où il se dépose. On a employé dans ce but des brunissoirs en agate qui frottent la surface du dépôt à mesure qu'il se produit; ce procédé, qui paraît avoir été indiqué par M. Cowper Coles, a été considérablement perfectionné par M. Elmore qui, en combinant le mouvement longitudinal des brunissoirs avec un mouvement lent de rotation, obtint des tubes dont les qualités n'étaient pas inférieures à celles des tubes obtenus par étirage. La charge de rupture de ce cuivre est environ trois fois celle du cuivre commercial.

Un autre procédé consiste à empêcher le développement d'aspérités trop prononcées à la surface du dépôt, non plus en employant des brunissoirs, mais en recouvrant les aspérités dès qu'elles se manifestent par une légère couche d'une matière isolante. Cette matière est formée de substances albumineuses ou gélatineuses; des frotteurs en peau de mouton imprégnés de cette substance sont disposés contre le dépôt électrolytique : on obtient encore des tubes que l'on fend suivant une génératrice pour les développer en plaques. Enfin d'autres procédés consistent à projeter l'électrolyte sur la cathode sous une forte pression.

D'autres inventeurs ont mis à profit la force centrifuge développée par un mouvement de rotation. M. Wilde mettait en mouvement l'électrolyte, M. Cowper Coles donne au contraire un mouvement rapide de rotation à la cathode, procédé qui paraît avoir fourni de bons résultats.

La régularité des dépôts que l'on obtient en faisant subir à la cathode, pendant l'électrolyse, un travail mécanique, et la possibilité de fabriquer électrolytiquement des produits finis et utilisables de suite, ont puissamment contribué au développement de l'électro-métallurgie du cuivre.

Trois maisons ou sociétés avaient exposé des produits obtenus par ces procédés, *la Société française d'électro-métallurgie, la Compagnie française des métaux,* toutes deux hors concours, et *M. Sherard Cowper Coles,* titulaire d'une médaille d'argent.

Société française d'électro-métallurgie. — Cette Société, fondée en 1893, dont le siège social est à Paris et dont l'usine unique est à Dives-sur-Mer (Calvados), fabrique du cuivre par les divers procédés connus, et spécialement des tuyaux en cuivre par dépôt électrolytique, suivant les brevets de MM. Elmore et Secrétan.

Après bien des difficultés et plusieurs années d'études, M. Secrétan est parvenu à perfectionner le procédé Elmore et à réaliser une méthode industrielle. Ce fut en 1891

qu'il commença la construction de l'usine de Dives, dont les bâtiments couvrent aujourd'hui une surface de plus de 4 hectares, qui occupe 1,000 ouvriers et emploie une puissance de 3,500 chevaux obtenue par la vapeur.

Le bain est une solution de sulfate de cuivre dans laquelle plonge une anode soluble en cuivre plus ou moins pur. La cathode est constituée par un mandrin enduit de plombagine et sur lequel frotte un polissoir en verre ou en agate qui lamine le métal au fur et à mesure du dépôt. Le cuivre obtenu est pur, malléable et particulièrement résistant à la rupture. Les sous-produits de la fabrication sont des boues argenti-aurifères qui sont vendues aux affineurs de métaux précieux.

La Société transforme annuellement 7,000 tonnes de cuivre et 500 tonnes de zinc. Elle exposait des tuyaux en cuivre et en laiton, des planches, des barres, des fils des mêmes substances. Parmi les nombreux emplois de ces matières, la confection des douilles de cartouches fait l'objet d'une fabrication à laquelle les laitons formés de cuivre pur conviennent parfaitement.

L'attention du Jury s'est portée particulièrement sur les qualités de fini que présentaient les objets au sortir de l'électrolyse. Ce genre de fabrication, en donnant des objets terminés, au prix du cuivre brut affiné par voie électrolytique, réalise une économie qui paraît devoir assurer l'avenir de l'exploitation de ces procédés.

Compagnie française des métaux. — La Compagnie française des métaux, à Paris, a acquis, en 1892, les usines de la Société industrielle commerciale des métaux qui, elle-même, s'était formée par la réunion des établissements J.-J. Laveissière et fils et Secrétan. L'exposition générale de ses produits était à la Classe 64 (grosse métallurgie), et cette compagnie n'exposait à la Classe 24 que divers produits électrolytiques : des cathodes de cuivre affiné (teneur 99,99 p. 100 de cuivre, conductibilité 99 p. 100), des lingots refondus en cuivre électrolytique employés surtout pour les fils et les câbles électriques, pour les alliages et le laminage, du sulfate de cuivre, sous-produit vendu pour la sulfatation des vignes, et enfin des boues argentifères et des lingots d'argent aurifère retirés des boues dans l'une des usines de la Compagnie.

Ces usines sont nombreuses : à Saint-Denis (Seine), à Sérifontaine (Oise), à Déville-lès-Rouen (Seine-Inférieure), à Givet (Ardennes), à Castel-Sarrasin (Tarn-et-Garonne). Elles emploient 3,500 ouvriers et utilisent 5,000 chevaux fournis par des moteurs, et 700 provenant de puissances hydrauliques.

La production annuelle des ateliers d'électrolyse est de 2,500 tonnes sur 42,000 t. constituant l'ensemble des produits métallurgiques de la Compagnie.

La production électrolytique forme donc environ la dix-septième partie de la production totale de cette Compagnie.

Procédés de M. Sherard Cowper Coles. — Nous devons une mention toute spéciale à l'exposition des produits obtenus par M. Sherard Cowper Coles, de Londres, tant à cause de la variété des applications que de l'originalité des méthodes employées.

Nous avons déjà signalé, dans un chapitre précédent, la *méthode de galvanisation électrique* de cet auteur, qui constitue une méthode pratique dont les diverses opérations sont automatiques et parmi lesquelles figure un mode ingénieux de décapage par un électro-aimant.

M. Sherard Cowper Coles exposait encore :

1° *Un procédé pour la fabrication de réflecteurs paraboliques* dont le principe est le suivant :

Depuis longtemps on avait essayé d'obtenir des miroirs en argentant une surface convexe de verre ou d'une autre matière polie, puis en renforçant la couche d'argent par un autre métal et une matière coulée telle que du plâtre, et détachant ensuite le dépôt. Celui-ci peut se présenter avec le poli de la surface sur laquelle il a été déposé et, suivant les conditions, être prêt à servir ou recevoir un polissage ultérieur. Ce procédé a l'avantage de pouvoir utiliser un bon moule à la confection d'un nombre indéfini de bons miroirs. L'application présente diverses difficultés que M. Sherard Cowper Coles a surmontées; il opère de la manière suivante : une surface de verre est parfaitement travaillée en forme de paraboloïde de révolution et parfaitement polie. On dépose d'abord chimiquement une légère couche d'argent sur le verre, puis immédiatement après une couche de cuivre par électrolyse dans une solution de sulfate. Dès qu'une couche mince de cuivre a recouvert l'argent, on donne à l'ensemble de la cathode un mouvement de rotation dans l'électrolyte, 15 tours par minute, de façon à assurer la régularité du dépôt et à éloigner, par la force centrifuge, les bulles gazeuses et les matières en suspension. Lorsque l'épaisseur du dépôt est jugée suffisante, on place le moule et le dépôt qui y adhère dans l'eau tiède dont on élève progressivement la température jusqu'à 48 et 50 degrés; la dilatation inégale du verre et du métal détache le miroir dont la surface intérieure n'a pas besoin d'un poli nouveau.

Comme l'argent s'altère et se ternit soit à la chaleur de l'arc électrique, soit sous les influences atmosphériques, on recouvre la couche brillante d'argent d'une couche de palladium, déposée par l'électrolyse d'un chlorure ammoniacal de palladium donnant un dépôt brillant dont le pouvoir réflecteur est moindre que celui de l'argent, mais qui est pratiquement inaltérable. On forme ainsi à bon marché des miroirs dont la courbure a la même perfection que celle du moule et qui paraissent d'un très bon usage;

2° *Un procédé électrolytique pour l'extraction et le raffinage du cuivre pour la fabrication des tubes, feuilles et fils du même métal.*

Le procédé se rattache à ceux que nous avons exposés ci-dessus; il ne comporte ni frottoir, ni brunissoir; il consiste essentiellement à donner à la cathode un mouvement de rotation rapide. On peut ainsi employer une plus grande densité de courant; le dépôt est homogène et le frottement de la cathode sur l'électrolyte assure la compacité. Les bulles d'hydrogène qui peuvent se produire se dégagent rapidement et les particules solides qui peuvent rester en suspension dans le bain et qui sont la cause principale des nodules sont éloignées de la cathode par la force centrifuge. Avec une vitesse de 1,000 tours par minute les tubes obtenus sont très unis. Nous ne suivrons pas plus loin

M. Sherard Cowper Coles dans l'étude des différentes conditions de l'application de son procédé qui est employé dans les usines de MM. Smith et Cie, à Manchester;

3° M. Sherard Cowper Coles exposait des spécimens de *vanadium et d'alliages de ce métal* obtenus par l'électrolyse;

4° *Un procédé de récupération de l'or des solutions cyaniques,* dans lequel l'or s'obtient en lames qui se détachent facilement de la cathode en aluminium;

5° Des échantillons d'*alliages d'argent et de cadmium* déposés électrolytiquement; ce dépôt est plus économique et plus résistant que l'argent pur;

6° Et enfin *un appareil pour émettre et recueillir des sons,* qui n'était pas de la compétence de la Classe 24.

PROCÉDÉ SIEMENS POUR L'EXTRACTION DE L'OR PAR L'ÉLECTROLYSE DE CYANURE.

Parmi les produits qu'exposait l'importante maison Siemens et Halske, de Berlin, pour lesquels il lui a été décerné un grand prix, et dont nous aurons occasion de donner une description dans le chapitre suivant, nous devons citer ici avec quelques détails l'exposition des procédés d'extraction de l'or. La méthode était mise effectivement en pratique dans l'exposition du Transvaal, où l'on avait installé une véritable petite usine mise en mouvement par une chute d'eau de façon à pouvoir suivre toutes les préparations que subissent les minerais jusqu'à l'extraction finale de l'or.

Le procédé Siemens est un des nombreux procédés d'extraction de l'or qui ont paru dans le cours des vingt dernières années. Parmi les procédés au cyanure, les seuls qui soient entrés dans la pratique sont ceux de MM. Arthur Forrest, Betty, Sulman et Siemens.

M. M.-Arthur Forrest dissout l'or par le cyanure et le précipite par des planures de zinc. Celui-ci est inefficace si la concentration est trop faible. M. Betty emploie le même procédé en ajoutant au zinc 5 p. 100 de plomb, ce qui permet d'employer des lessives plus faibles. M. Sulman ajoute au cyanure de potassium du chlorure ou du bromure de cyanogène, qui est employé avec avantage pour beaucoup de minerais rebelles. L'or est ensuite précipité par le zinc.

Le procédé Siemens consiste à dissoudre l'or par une lessive de cyanure de potassium dont la concentration est variable à volonté, et à le séparer par électrolyse. La séparation de l'or a lieu totalement, quelle que soit la teneur du cyanure et sans que les impuretés du bain aient d'influence sur l'or, ce qui n'a pas lieu quand on emploie le zinc.

Ce procédé, appliqué d'abord en Transylvanie, fut introduit, en 1893, aux mines d'or du Transvaal où il constitue aujourd'hui une des méthodes les plus importantes pour l'extraction de l'or.

La plupart des minerais renferment une partie de l'or sous forme de grains grossiers dont la dissolution dans la lessive de cyanure prendrait un temps trop long. On emploie alors l'amalgamation soit avant, soit après le traitement au cyanure. Pour que ce traitement soit efficace, il est nécessaire que l'or se trouve dans le minerai à l'état de fines granulations.

Les minerais sont concassés puis amenés à l'état de sable et de boue, et mélangés au mercure qui dissout une partie de l'or que l'on extrait par distillation.

Le procédé Siemens s'applique alors au traitement des résidus d'amalgamation. Ceux-ci sont divisés à l'état humide en trois parties : 1° les *concentrates,* se composant de pyrites et de sables grossiers; 2° les *taillings,* comprenant les sables tamisés, et 3° les *slimes,* constitués par une boue d'argile et de sables fins.

Ces trois produits sont séparés et traités différemment; les deux premiers sont lessivés dans une cuve à filtre, tandis que les derniers sont agités avec la lessive, et après la séparation de la boue la solution d'or est décantée.

Pour les lessives on emploie des solutions de cyanure de potassium de 0,05 à 0,1 p. 100. Le temps du lessivage est de deux semaines et demie à trois semaines pour les *concentrates,* de 5 à 7 jours pour les *taillings* et de 4 à 6 heures pour les *slimes;* le temps de la décantation est de 8 à 12 heures.

Nous ne donnerons pas de détails sur la construction des cuves ni sur les procédés de remplissage et d'agitation, et nous nous bornerons à exposer la partie électrolytique.

La séparation de l'or de la lessive de cyanure est obtenue par électrolyse. Comme anodes on se sert de plaques de fer, et comme cathodes, pour recueillir l'or, de feuilles de plomb découpées en bandes et placées en trois ou quatre rangées entre les anodes de façon à offrir la plus grande surface possible. Ces plaques sont disposées dans un bac en bois long et étroit, divisé en un certain nombre de compartiments par des cloisons transversales. La solution aurifère entre par l'extrémité élevée du bac puis parcourt les différents compartiments successivement de haut en bas et de bas en haut pendant qu'elle est soumise à l'électrolyse. La différence de potentiel est 2 volts et le courant un demi-ampère par mètre carré de surface d'électrodes. Un appareil de 7 mètres de long sur 1 m. 5 de large et 1 mètre de haut consomme 100 ampères et permet de traiter 50 mètres cubes de solution en vingt-quatre heures.

L'or se dépose sur le plomb à l'état de précipité métallique très adhérent; à la fin de chaque mois, il est recueilli et fondu. Les lingots de plomb aurifère, qui contiennent de 1.5 à 10 p. 100 d'or, sont raffinés par coupellation.

La litharge est réduite en plomb métallique qu'on lamine pour servir à de nouvelles opérations. L'or obtenu titre 85 à 90 p. 100, contient encore de l'argent et 0,25 à 0,50 p. 100 de plomb.

Tous les minerais ne conviennent pas pour le traitement au cyanure; il faut qu'ils ne contiennent ni cuivre, ni zinc, ni matières organiques; on rend celles-ci inoffensives en les oxydant. Les pyrites aurifères peuvent être traitées; cependant si elles renferment de l'arsenic, de l'antimoine ou du tellure, il est avantageux de les griller avant de les traiter au cyanure. Les minerais friables ou acides doivent être préalablement lessivés les uns à l'eau, les autres avec un lait de chaux.

Le rendement d'une exploitation très soigneusement conduite peut atteindre 75 à 80 p. 100.

APPLICATIONS DIVERSES DE L'ÉLECTROLYSE.

Nous rappellerons seulement ici pour mémoire l'expérience célèbre par laquelle M. Moissan a obtenu le fluor en électrolysant à froid une solution fluorhydrique de fluorax de potassium dans un appareil en platine, puis plus tard dans un appareil en cuivre. Ces appareils étaient exposés dans diverses vitrines de l'annexe de la Classe 24.

Citons également dans les mêmes vitrines un appareil électrolyseur de M. Étard.

M. Édouard Peyrusson, professeur à Limoges, exposait dans l'annexe des modèles particuliers d'électrolyseurs. Dans ces appareils, les électrodes ont un très grand développement; elles sont formées d'hélices à lames larges enroulées autour d'une tige ou d'un cylindre central, et s'emboîtent exactement dans les vases cylindriques ou annulaires qui les contiennent de façon à constituer un canal hélicoïdal. L'électrolyte arrive par en haut et, après avoir cheminé dans le canal, s'écoule par le bas.

Dans un des modèles, deux hélices concentriques formant les électrodes sont séparées par un vase poreux cylindrique; dans un autre modèle, les compartiments hélicoïdaux sont séparés par un espace annulaire compris entre deux vases poreux. Les électrodes, pour être inattaquables aux produits de l'électrolyse, peuvent être formées d'argent platiné ou iridié, au moins pour l'anode.

L'un des avantages de cette forme d'électrolyseur est de permettre une circulation continue de l'électrolyte tout en lui assurant un parcours suffisant entre les électrodes. Elle peut s'appliquer à une très grande variété de réactions avec la possibilité de supprimer même le vase poreux. Pour l'électrolyse du chlorure de sodium en vue de préparer la soude, la cathode est formée d'une pile de rondelles en fonte qui se superposent et s'emboîtent l'une dans l'autre; l'anode est faite de lames d'argent platiné, séparées par du coke et enfermées dans un vase poreux fermé présentant seulement les canalisations nécessaires pour l'introduction du liquide et pour l'évacuation du chlore.

Une médaille de bronze a été décernée à M. Peyrusson.

Une médaille de bronze a été également décernée à M. F. Dupont qui présentait le résultat de ses recherches électrolytiques sur la préparation et l'extraction de divers sucres végétaux et sur le dosage de la potasse et de la soude.

L'électrolyseur qui lui a servi se compose d'une cuve en bois ou en verre divisée en trois compartiments par des cloisons poreuses en papier parcheminé, en fibre végétale, en porcelaine ou en pâte d'amiante. Les électrodes varient suivant la nature de l'électrolyse (platine, argent platiné, fer, plomb, aluminium ou zinc). On pouvait opérer sous 14 à 15 volts avec un courant d'une densité de 25 à 50 ampères par mètre carré d'anode.

Préparation des sucres de betteraves et de cannes. — On met le jus sucré dans le compartiment du milieu et de l'eau dans les deux autres. Dans le jus plonge comme anode une lame de plomb ou d'aluminium; des lames de fer formant cathodes plongent dans

les deux autres compartiments. Les matières albuminoïdes du jus sont coagulées et se précipitent; les sels sont décomposés; les bases (soude, potasse, ammoniaque) se retrouvent dans les compartiments cathodiques; la chaux et la magnésie se précipitent autour du jus; l'acide nitrique est décomposé et donne de l'ammoniaque à la cathode. Quand toutes les matières sont précipitées le jus est incolore; on peut le concentrer et le faire cristalliser. On voit que l'épuration est réalisée par l'emploi d'anodes solubles donnant, avec les impuretés à éliminer, des précipités insolubles. Le plomb est le métal qui réalise le mieux cette condition, puis viennent l'aluminium, le zinc, l'étain et le fer.

Préparation des autres sucres et des hydrates de carbure.— M. Dupont, en électrolysant les sucs exprimés de la racine de gentiane, de la racine de cyclamem, des raisins, des cerises, etc., a obtenu les sucres contenus dans ces jus. De même pour le petit lait qui donne de grands cristaux incolores. M. Dupont pense que cette méthode doit donner de bons résultats pour l'extraction des sucres et des hydrates de carbone que l'on rencontre dans les végétaux, car ces corps ne sont pas altérés par l'électrolyse. On peut, du reste, opérer l'électrolyse d'une autre manière en mettant le jus dans la case du milieu et en se servant des deux autres cases à eau comme d'anode et de cathode, mais la différence de potentiel nécessaire à l'électrolyse doit alors atteindre 50 volts.

Dosage de la potasse et de la soude. — La potasse et la soude qui se rendent dans les compartiments négatifs peuvent y être dosées. L'on a aussi un moyen de doser ces matières dans les sucs végétaux. Le même procédé peut être appliqué à l'analyse des terres; on les attaque par de l'eau acidulée d'acide sulfurique, on neutralise ensuite par du carbonate de chaux en poudre et on électrolyse la solution; la potasse et la soude se retrouvent dans les compartiments négatifs.

L'application de l'électrolyse à l'épuration des jus sucrés a donné lieu à un grand nombre de dispositions de la part de divers inventeurs, mais le Jury de la Classe 24 n'a eu à examiner dans cet ordre d'applications que celle de M. Dupont. Citons cependant un appareil de M. Fayet, de Blida (Algérie), qui, en électrolysant, ou plutôt en électrisant les liquides de consommation, eaux, vins, cidres, lait, pensait, par l'action de l'ozone, détruire les germes nuisibles que ces liquides pouvaient contenir.

VI

LES FOURS ÉLECTRIQUES.

Résumé historique et expériences de M. Moissan. — Lorsque, en 1813, Davy réalisa pour la première fois l'expérience de l'arc électrique entre deux pointes de charbon, soit dans l'air, soit dans le vide, il constata que les substances les plus réfractaires telles que le quartz, la magnésie, la chaux, le saphir, entraient en fusion. A la même époque, le docteur Hare fit des constatations analogues.

Avant d'être utilisés industriellement, les effets produits par la température de l'arc, température la plus élevée que nous sachions produire, ont été étudiés par un grand nombre de savants soit au point de vue physique, soit au point de vue chimique. Nous n'avons pas à mentionner ici les expériences qui se rattachent à la production de lumière ou au rayonnement.

Jacquelain, en 1847, reconnut que dans l'arc le diamant est transformé en coke. En 1849 et 1850, Despretz fit une très remarquable série d'expériences sur les effets calorifiques produits par l'arc voltaïque. Dans l'appareil qu'il avait disposé, on pouvait opérer soit dans le vide, soit dans des gaz divers, à des pressions variables. Despretz avait même combiné avec l'arc deux autres sources de chaleur, la combustion des gaz hydrogène et oxygène, et l'action solaire concentrée au foyer d'une lentille. Le courant était fourni par 600 couples à acide nitrique tantôt réunis en tension, tantôt groupés en six séries de 100. Les charbons ordinaires contenant des silicates fusibles, Despretz s'était servi d'électrodes en charbon de sucre très pur. Après avoir obtenu la fusion du platine, du silicium, du tungstène, il avait constaté que le charbon peut être courbé et qu'un charbon quelconque ainsi que le diamant se transforment en graphite, et, en comparant l'état cristallin du graphite à celui du diamant qui en est très différent, il avait conclu que le diamant ne devait pas se former par la seule action d'une chaleur intense sur les matières organiques ou charbonnées.

La transformation du carbure en graphite dans l'arc a été observée également par MM. Fizeau et Foucault, et par M. Berthelot.

Parmi tous les travaux qui ont été faits sur les actions chimiques produites dans l'arc électrique, le plus important de tous au point de vue de la philosophie chimique est peut-être la synthèse de ce gaz obtenue accidentellement par Davy en 1836, puis oublié dans la science et découvert de nouveau en 1860, par M. Berthelot, le gaz acétylène. Il est à peine besoin de rappeler ici l'expérience célèbre par laquelle M. Berthelot a montré que ce gaz se forme autour des pôles d'un arc électrique, qu'il est absorbé par une solution de protochlorure de cuivre ammoniacal en produisant un précipité rouge d'acétylure cuivreux qui, décomposé ultérieurement par l'acide chlorhydrique, restitue l'acétylène à l'état de pureté.

Ces travaux, et d'autres que je ne puis citer, montraient déjà tout le parti que l'on pouvait tirer de la production des hautes températures pour effectuer des réactions chimiques; mais, dans cette voie, il fallut attendre, puis suivre le développement progressif de la production industrielle du courant électrique.

Ce fut d'abord l'industrie de l'aluminium qui provoqua les premières applications au moyen d'appareils inspirés par les anciennes recherches de laboratoire, et qui constituèrent les premiers fours électriques. Nous reviendrons plus loin sur quelques-uns de ces appareils dans lesquels le courant servait à la fois à maintenir les substances en fusion et à les décomposer par électrolyse.

Avant de décrire les principaux fours actuels et les principes sur lesquels repose leur fonctionnement, nous devons, comme introduction nécessaire, résumer les recherches de laboratoire de M. Moissan qui, d'une part, eurent une influence décisive sur le développement actuel de l'industrie électro-chimique, et qui, d'autre part, par les découvertes qu'elles réalisèrent, ont transformé une partie de nos connaissances sur la chimie minérale.

Dans les fours qu'il construisit pour ses recherches, M. Moissan s'est attaché à éviter l'électrolyse et à la séparer bien nettement de l'effet produit par l'élévation de température due à l'arc. Au lieu de prendre comme source de courant des piles, ainsi que l'avait fait Despretz, ou de petites machines de laboratoire, M. Moissan put utiliser des installations électriques industrielles donnant des voltages et des courants d'une grandeur inconnue jusque-là dans les laboratoires; c'est ainsi que, depuis 1892, dans une série encore ininterrompue de belles recherches, il a pu obtenir des résultats de premier ordre dont nous allons ici rappeler les principaux.

L'origine de ces travaux fut l'étude de la reproduction du carbone cristallisé. On sait que H. Saint-Claire Deville avait obtenu du graphite cristallisé en faisant passer du chlorure de carbone sur de la fonte en fusion. Les recherches de M. Berthelot sur les divers états du carbone avaient permis de caractériser le graphite comme espèce définie. En partant de ces recherches, M. Moissan reprit l'étude méthodique des trois variétés de carbone et rechercha leurs moyens de transformation. Reconnaissant que la pression avait dû intervenir pour produire la cristallisation du charbon, il se servit de l'augmentation de volume qu'éprouve la fonte au moment où elle passe de l'état liquide à l'état solide pour obtenir une pression énergique. Pour réaliser cette expérience, il faut atteindre des températures d'autant plus élevées que l'on désire faire dissoudre plus de carbone dans la fonte, et c'est dans ce but que M. Moissan disposa un arc qui constitua son premier four électrique.

Au moyen de cet appareil, il a pu saturer de carbone la fonte liquide à 3,500 degrés et, par un refroidissement brusque, obtenir dans le culot de fonte les variétés de carbone les plus denses. Il a reproduit ainsi le diamant noir et le diamant transparent. Ce dernier, avec toutes les formes que présente la nature, en octaèdres réguliers, en cubes, en fragments à cristallisation confuse, en gouttes, en cristaux qui se brisent à la lougue, soit d'une transparence et d'une limpidité parfaites, soit avec des crapauds. Ces cristaux

et ces fragments, bien que très petits, sont en tous points semblables à ceux que l'on trouve au Cap et au Brésil.

A la pression ordinaire, le bore et le carbone passent de l'état solide à l'état gazeux sans prendre l'état liquide. Au contraire, sous une pression considérable, le carbone devient liquide, sa densité augmente, il fournit le diamant.

On a pu ramener tous les états du carbone à la forme stable à 3,000 degrés et à la pression ordinaire, c'est-à-dire au graphite, et démontrer que la stabilité de ces carbures était fonction de la température à laquelle ils avaient été portés; enfin, on a obtenu la variété foisonnante.

Le four électrique, en reculant la limite des températures auxquelles on avait pu jusque-là soumettre les corps dans les laboratoires, a permis d'aborder de nouvelles recherches sur leur fusion et leur volatilisation.

La chaux, la magnésie, le molybdène, le tungstène, le vanadium, le zirconium se fondent assez facilement. En employant un arc de plus en plus intense, on a volatilisé en grande quantité la silice, la zircone, la chaux, l'aluminium, le cuivre, l'or, le platine, le fer, l'uranium, le silicium, le bore et le carbone. Cette volatilisation a permis d'obtenir les oxydes métalliques cristallisés.

L'élévation considérable de la température a permis de généraliser quelques réactions que l'insuffisance des moyens d'action avait fait regarder jusque-là comme limitées.

Au four électrique, les carbonates de baryum et de strontium se dédoublent en acide carbonique et en baryte ou strontiane. Les oxydes que l'on regardait comme irréductibles sont décomposés. L'alumine, la silice, les oxydes alcalino-terreux, les oxydes d'uranium, de vanadium, de zirconium se réduisent par le charbon. La préparation du manganèse, du chrome, du tungstène et du molybdène se fait avec facilité, et comme à cette haute température les métaux réfractaires deviennent liquides, on peut, sous cette forme, éviter plus facilement l'action de l'oxygène et de l'azote, et les obtenir dans un grand état de pureté. Le plus souvent, ces métaux sont combinés au carbone, mais on peut alors, par une deuxième fusion, les affiner et les obtenir sous forme de lingots qui, pour certains d'entre eux, peuvent se travailler à la lime.

Ces échantillons de laboratoire pouvaient être obtenus en masses relativement grandes, les creusets renfermant plus de 1 kilogramme d'oxyde à réduire, et l'on a pu reprendre, dans des conditions toutes nouvelles, l'étude du chrome, du manganèse, du molybdène, du tungstène, de l'uranium, du vanadium et du zirconium.

Les métaux réfractaires que l'on obtient si facilement au four électrique peuvent aussi se préparer unis à l'aluminium lorsqu'on réduit par ce métal leurs composés oxygénés. On peut employer ces alliages pour faire passer les corps réfractaires dans un métal quelconque dont on enlèvera ensuite avec facilité l'excès d'aluminium.

Le four électrique a permis encore à M. Moissan d'aborder l'étude de plusieurs séries nouvelles de composés cristallins, les borures, les siliciures et les carbures; ces composés ont des formules peu complexes et, à une température très élevée, il ne se forme le plus souvent qu'une seule combinaison.

Les siliciures sont des corps d'une très grande dureté, dont quelques-uns, tels que ceux de bore et de titane, peuvent user le diamant tendre.

Certains métaux fondus n'ont pas d'action sur le carbone à leur température d'ébullition : l'or, le bismuth, par exemple.

D'autres dissolvent le carbone à haute température et l'abandonnent ensuite sous forme de graphite avant leur point de solidification : tels sont les métaux de la famille du platine.

Enfin, un grand nombre de composés forment avec le charbon des composés définis et cristallisés. Ces carbures peuvent se diviser en deux classes. La première renfermant les corps qui décomposent l'eau à froid, carbures alcalins et alcalino-terreux, carbures d'aluminium, de glucinium, de cérium, de lanthane, de thorium, etc.; la seconde formée des carbures stables produits par le chrome, le molybdène, le tungstène, le titane.

Les carbures décomposables par l'eau froide fournissent tantôt un seul carbure d'hydrogène, l'acétylène, dans un grand état de pureté (lithium, calcium, strontium, baryum), du méthane pur (aluminium, glucinium), tantôt un mélange d'hydrogène et de méthane (manganèse), tantôt enfin un mélange plus complexe d'acétylène, de méthane, d'éthylène et d'hydrogène (thorium).

Le phénomène le plus curieux a été présenté par la décomposition en présence de l'eau des carbures de cérium ou d'uranium. Dans ce cas, non seulement il se produit un mélange de carbures gazeux, mais il se forme une notable quantité de carbures liquides et solides.

M. Moissan pense que ces réactions ont joué un rôle capital dans la formation géologique des carbures gazeux naturels des schistes et des pétroles.

Tel est le résumé succinct des principaux résultats des travaux de M. Moissan qui dominent aujourd'hui toutes les applications chimiques du four électrique.

A côté du nom de M. Moissan, il convient de citer celui d'un de ses éminents collaborateurs, M. Lebeau, auteur de travaux importants, et auquel le Jury a décerné une médaille d'or.

CLASSIFICATION DES FOURS ÉLECTRIQUES DE DIFFÉRENTS GENRES [1].

Voyons maintenant quels sont les principaux systèmes de fours qui ont été imaginés pour les applications industrielles. Ces appareils dérivent pour la plupart de deux types, soit du four électrique à creuset, de Siemens et Hutington, le premier en date (1879), soit du four de M. Moissan (1892).

Four Moissan. — La disposition imaginée par M. Moissan a permis de dépasser les

[1] Cette description est empruntée à un excellent article de M. Keller, publié dans le journal l'*Électro-Chimie* (octobre 1900).

températures employées jusqu'alors dans l'industrie à l'aide de fours de différents genres. La température atteignait environ 1,800 degrés, alors que le chalumeau à gaz d'éclairage et oxygène donnait 2,000 degrés. Dans le four de M. Moissan la température s'élève au delà de 3,000 degrés. L'arc jaillit entre deux charbons horizontaux pénétrant dans un canal creusé dans un bloc de chaux vive. Un dôme, également en chaux vive, ferme le four. La matière à traiter est placée dans une cavité au-dessous de l'arc électrique. L'action calorifique du courant qui se communique à la masse de chaux avoisinant immédiatement l'arc est ainsi séparée de son action électrolytique. C'est la caractéristique du four de M. Moissan.

La disposition adoptée évite également que les impuretés contenues dans les électrodes interviennent dans l'expérience. Par suite de la faible conductibilité de la chaux, une épaisseur de 3 centimètres du dôme a pu suffire pour que la partie extérieure restât froide de façon à pouvoir y appliquer la main, tandis que la partie interne était en fusion. Pour ses différentes recherches, M. Moissan avait réalisé diverses dispositions, fours au carbonate de chaux (pierre de Courson) avec creusets en charbon reposant sur de la magnésie pour éviter la formation de carbure de calcium, fours à tube et four continu, fours à plusieurs arcs.

Four Siemens. — Le four Siemens avait été conçu dans un ordre d'idées différent. Les premiers appareils Siemens étaient destinés à l'électrolyse des métaux fondus ou simplement à la fusion; ils consistaient en un creuset de matière réfractaire à parois doublées d'une enveloppe isolante et recevant à sa base le courant électrique. Une électrode verticale disposée au-dessus du creuset servait de second conducteur au courant. La matière introduite dans le creuset tient lieu de conducteur intermédiaire, et l'arc électrique jaillit entre l'électrode verticale et la matière elle-même. Le réglage de l'arc est automatique; il s'obtient par la mise en dérivation dans le circuit d'un solénoïde provoquant le déplacement de l'électrode. Plus tard, pour éviter les perturbations amenées dans l'action chimique par les impuretés de l'électrode et par la chute dans le bain en fusion des particules de charbons, Siemens fit usage d'un pôle supérieur en cuivre avec refroidissement par un courant d'eau intérieur.

Fours industriels. — Avant l'apparition des types récents, provoqués surtout par la fabrication du carbure de calcium, plusieurs types dérivés des deux types fondamentaux qui précèdent sont restés pendant quelque temps seuls en usage dans l'industrie, et, en dehors des essais faits sur de nombreux autres types, ils ont servi à fixer les conditions d'emploi pratique des fours électriques.

Fours Cowles. — Le four de Cowles, qui date de 1885, et avec lequel ont été faites les premières applications de l'électricité à la réduction des oxydes, répondait déjà à plusieurs desiderata industriels. L'appareil des frères Cowles se compose d'une capacité en terre réfractaire dont une extrémité est fermée par une paroi conductrice et constitue

IMPRIMERIE NATIONALE.

l'un des pôles. L'autre extrémité est fermée par un creuset en graphite constituant l'autre pôle. La matière à traiter est placée dans la capacité et le courant est ainsi obligé de la traverser. Cette capacité est entourée de matières pulvérulentes non conductrices.

En 1886, les frères Cowles introduisirent dans la capacité contenant la matière deux électrodes horizontales entre lesquelles l'arc jaillit tout d'abord, puis les électrodes sont éloignées au fur et à mesure de la fusion de la matière. Ce perfectionnement permit de traiter les matières qui, à froid, n'étaient pas conductrices de l'électricité. Ce système fut employé à l'usine de Milton (Angleterre) pour la réduction des oxydes et la formation des alliages.

En 1887, MM. Cowles prirent un nouveau brevet pour un four dans lequel la charge était introduite d'une manière continue; il se compose de deux électrodes verticales creuses en charbon; l'électrode inférieure est seule mobile, et le tout est compris dans une chambre en terre réfractaire fermée hermétiquement autour des électrodes. La matière à traiter descend par l'électrode supérieure, traverse l'arc électrique et est évacuée par l'orifice de l'électrode inférieure.

Four Heroult. — Le four Heroult, appliqué tout d'abord à la réduction de l'alumine en présence du cuivre, est basé sur le même principe que le four précédent de Cowles. Le cuivre est introduit dans le four en granules; le courant fond le métal interposé entre les deux électrodes; on verse ensuite l'alumine et on obtient un alliage d'aluminium et de cuivre. Les usines de Froges et de Newhausen ont employé les fours Heroult pour la fabrication de l'aluminium. A l'apparition du carbure de calcium ces mêmes fours servirent à la fabrication de ce corps. Le four approprié à la fabrication du carbure de calcium est composé d'une électrode verticale pouvant recevoir un mouvement de montée et de descente au-dessus d'une chambre dont le fond est en charbon et qui est montée sur roues. Cette chambre constitue ainsi un four mobile et sert de deuxième électrode; les parois sont doublées de matière isolante. Le carbure est évacué par voie de coulée par un orifice ménagé à cet effet à la partie inférieure de la chambre. Lorsqu'une opération est terminée le four mobile est enlevé et remplacé par un autre.

Fours industriels récents. — L'apparition du carbure de calcium fut le signal de la mise à l'étude des fours électriques à grand rendement et à fonctionnement continu. On peut les classer de la manière suivante :

1° Fours à arc, basés sur les fours Moissan et Siemens;

2° Fours à résistance, basés sur le four Heroult;

3° Fours à résistance superficielle ou à incandescence, qui dérivent du premier des fours Cowles.

Fours à arc. — Parmi les fours à arc, les uns sont à un seul arc et à deux électrodes mobiles (fours Patin, fours de la Deutsche Gold und Silberscheide Anstalt, fours Street); d'autres à un seul arc et à une seule électrode mobile : celle-ci est alors verticale et

l'arc jaillit entre l'électrode et la sole. La tension varie de 50 à 60 volts (fours de la Société des carbures métalliques, systèmes Siemens et Halske, Schuckert, etc., ainsi qu'un grand nombre d'autres fours employés pour la fabrication du carbure de calcium). Enfin, on a construit des fours à arcs multiples qui ne sont que des variantes des précédents. Les arcs multiples ont pour objet de répartir l'action calorifique de l'arc sur de plus grandes surfaces. A cette catégorie se rattachent les fours Gin et Leleux (1897), Bertolus ou Memmo, Nicolaï, Bovy, etc.

Le four Gin et Leleux a été employé pour la fabrication du carbure de calcium et pour celle du phosphore; il était composé de quatre paires de charbons permettant l'utilisation de quatre arcs dans le même espace et d'une sole mobile à mouvement hélicoïdal se déplaçant sous les arcs.

Les fours Bertolus sont employés par leur inventeur à l'usine de Bellegarde (Ain). Le courant est triphasé et se divise en trois arcs au moyen de trois charbons mobiles inclinés, se déplaçant au-dessus d'une sole commune reliée électriquement ou non.

Les fours Memmo sont semblables aux fours Bertolus; nous ne décrirons pas les autres espèces de fours à arcs multiples.

Dans tous ces fours, l'emploi d'arcs multiples ne remédie qu'imparfaitement au défaut capital de l'arc, de produire, en un point donné, une température beaucoup trop élevée, d'où il résulte des phénomènes de volatilisation ou de dissociation qu'il peut être important d'éviter. L'arc a un pouvoir soufflant qui détermine un enlèvement considérable de matières fines. Le déplacement de la matière par rapport à l'arc ne remédie qu'imparfaitement aux difficultés de l'emploi de l'arc.

Fours à résistance. — Ces fours sont constitués comme les précédents, mais ils sont disposés pour fonctionner à basse tension. L'électrode verticale plonge dans la matière qui sert de conducteur électrolytique entre l'électrode et la sole.

La répartition de l'action calorifique est assez facile puisqu'elle ne dépend que de la densité du courant. La fusion est tranquille et les gaz de la réaction ne sont pas violemment soufflés en dehors.

Pour la fabrication du carbure de calcium, on a pu abaisser le voltage de 20 à 25 volts, mais la grande intensité nécessaire exige des canalisations à très forte section. A cette catégorie appartiennent les nouveaux fours de la Compagnie électro-métallurgique des procédés Gin et Leleux, qui sont employés dans un grand nombre d'usines pour la fabrication du carbure de calcium. Dans ces fours, l'électrode verticale mobile est constituée par un assemblage de charbons de différentes conductibilités atteignant jusqu'à 800 mm. de côté.

Fours à résistance superficielle et incandescence. — Dans ces fours, les électrodes seules ne permettent pas le passage du courant; pour provoquer ce passage, on les réunit, au début de l'opération, par des conducteurs quelconques tels qu'une suite de morceaux de charbon. Ceux-ci sont portés à l'incandescence et constituent un lit de

fusion sur lequel les matières à traiter sont placées. Ces fours permettent l'utilisation dans une même capacité d'une puissance plus grande que toute autre; ils offrent le grand avantage que le courant emprunte seulement comme conducteur une partie de la matière traitée et n'est pas obligé de la traverser tout entière. On évite aussi les pertes dues à la résistance considérable que présente cette matière dans certains fours. A cette catégorie appartiennent les fours Cowles et d'autres fours récents.

Les fours électriques se différencient encore entre eux d'après la nature du courant dont ils font usage et la manière dont agit celui-ci.

Les premiers fours fonctionnant avec un courant continu et dans lesquels il y a électrolyse ont été désignés sous le nom de fours électrolytiques, par opposition avec les fours électro-thermiques où la chaleur seule paraît intervenir. La plupart des fours électro-thermiques fonctionnent avec des courants alternatifs, qui évitent les actions électrolytiques, régularisent l'usure des électrodes, etc., mais la self-induction de l'arc peut entraîner une diminution de la tension utilisable.

Le courant alternatif peut être monophasé ou polyphasé. Dans le premier cas, on peut grouper les fours de différentes manières, en série ou en quantité. Les fours à arcs se comportent mieux en quantité, car ce groupement se prête mieux aux variations brusques. Les fours à incandescence sont avantageusement utilisés en tension.

Nous avons déjà cité les fours Bertolus (1897) à courant triphasé. Les courants polyphasés peuvent être utilisés séparément dans des fours électriques qui fonctionnent alors comme fours monophasés; les trois circuits peuvent être indépendants.

L'emploi des courants triphasés permet, par rapport à celui du courant monophasé, de réaliser une notable économie de cuivre dans l'installation des canalisations, car celles-ci peuvent avoir pour le retour une section moins forte.

La difficulté d'obtenir des électrodes de dimensions suffisantes et de forme convenable a longtemps limité la puissance des fours. Les électrodes verticales sont, le plus souvent, à section carrée ou rectangulaire; elles sont généralement constituées par un assemblage de charbons de haute conductibilité. Les électrodes horizontales sont, le plus souvent, cylindriques. On a essayé divers moyens pour les empêcher de brûler à l'air en dehors du four. L'un des meilleurs moyens paraît être un afflux d'air froid et une enveloppe d'agglomérés protecteurs comme dans les derniers modèles des fours Gin et Leleux.

Les courants employés sont toujours considérables; ils peuvent atteindre 8,000 à 10,000 ampères. Leur tension pour la fabrication du carbure de calcium est généralement faible, pour les arcs, 50 à 60 volts, dans les fours Heroult, 20 à 25 volts; dans les fours à résistance superficielle et à incandescence, on peut aller à 80 ou 100 volts.

Dans les fours Cowles, l'intensité atteint 5,000 ampères, avec 50 à 60 volts, soit 250 à 300 kilowatts. Dans les fours Heroult l'intensité atteint 6,000 ampères. Les fours à résistance Gin et Leleux, dans lesquels la tension est très faible, utilisent des courants atteignant 10,000 ampères. Dans les fours à résistance superficielle, la puis-

sance utilisée par un seul appareil peut atteindre 1,000 kilowatts avec un courant de 10,000 ampères.

Fours exposés dans l'annexe de la Classe 24. — Dans l'annexe de la Classe 24, on pouvait voir fonctionner trois spécimens de fours différents : un four Moissan; un four de la Société des carbures métalliques ou four Bullier, et un petit modèle de la Compagnie électro-métallurgique des procédés Gin et Leleux. La même société exposait un grand modèle de ses fours industriels.

Le four Moissan exposé est un four de laboratoire fonctionnant à 40 kilowatts et utilisé pour des expériences de fusion des métaux, de réduction des minerais, distillation de silice, etc. Le four Bullier se compose d'un creuset ouvert dans lequel plonge une électrode verticale mobile; il est utilisé pour la fabrication du carbure de calcium au moyen de l'arc et consomme environ 70 kilowatts.

Le four Gin et Leleux est un four à résistance dans lequel on évite la formation de l'arc; c'est une réduction des fours industriels construits par la même compagnie; il est constitué par une maçonnerie fixe en matières réfractaires enveloppant un creuset métallique mobile monté sur roues, qui forme la sole et constitue l'un des pôles. Il est muni d'un bec de coulée. L'électrode verticale mobile pénètre dans la maçonnerie par une ouverture rectangulaire. Ce petit modèle fonctionne à 70 kilowatts environ.

Développement des industries qui emploient les fours électriques. — D'après des évaluations récentes, la puissance employée par les fours électriques s'élève déjà au chiffre de près de 230,000 chevaux, sur lesquels la fabrication du carbure de calcium utiliserait 185,000, celle de l'aluminium 27,000, celle du cuivre 11,000, celle du carborundum 2,000 chevaux.

En France, près de 60,000 chevaux seraient employés à la fabrication du carbure de calcium. On doit toutefois signaler le préjudice causé à l'industrie du carbure de calcium, en France, par le régime des transports qui classe ce produit parmi les moins favorisés des produits chimiques.

La fabrication mixte du phosphore et du carbure de calcium au four électrique a été abordée en 1899, et récemment, dans certaines usines de la Savoie, sont apparues les fabrications du vanadium et du ferro-chrome.

Citons encore, en dehors des productions dont nous venons de parler, la fabrication du corindon artificiel, produit dû à la fusion de la bauxite au four électrique.

Les progrès réalisés dans le mode de construction des fours électriques industriels ont été très considérables dans ces derniers temps. En 1897, le rendement de ces appareils dans la fabrication du carbure de calcium atteignait 3 kilogrammes par kilowatt et par vingt-quatre heures; ce rendement a été plus que doublé dans les fours Gin et Leleux, ce qui correspond à un rendement calorifique de 75 p. 100.

CARBURE DE CALCIUM.

Nous venons de voir que la fabrication du carbure de calcium se plaçait, par son importance, en tête des productions électro-chimiques actuelles. La grande application de ce produit est la fabrication du gaz acétylène pour l'éclairage.

L'histoire du carbure de calcium est toute récente. On a rappelé qu'en 1862 M. Berthelot avait donné les propriétés du gaz acétylène. Vers la même époque, en 1861, Wœhler avait montré que, par l'action du carbone sur un alliage de zinc et de calcium, on obtenait une masse pulvérulente noire avec excès de charbon, qui, au contact de l'eau, dégageait différents gaz et, parmi ceux-ci, l'acétylène.

Dans un autre ordre d'idées Winkler avait indiqué la réduction au rouge des carbonates alcalino-terreux par le magnésium, réaction qui, reprise en 1892 par M. Maquenne, lui permit de préparer le carbure de baryum, mais cette méthode ne permet pas de préparer le carbure de calcium. En décembre 1892, M. Moissan obtint au four électrique du carbure de calcium; ce produit résultait de la combinaison avec les électrodes en charbon de la chaux fournie par les parois du four qui entraient en fusion.

En 1894 M. Moissan démontrait qu'à la haute température du four électrique il ne pouvait exister qu'un seul carbure de calcium, et que ce composé était cristallisé; il donnait sa formule, indiquait ses propriétés, et faisait voir que ce corps décomposait l'eau froide en donnant du gaz acétylène absolument pur. En même temps M. Bullier, qui avait travaillé dans le laboratoire de M. Moissan, breveta un procédé industriel de fabrication du carbure de calcium qui consiste à fondre au four électrique un mélange en proportions définies de charbon et de chaux. Le produit se forme à l'état liquide et se solidifie par refroidissement en une masse cristalline qui constitua le premier produit industriel, c'est-à-dire le produit dégageant 300 litres d'acétylène par kilogramme. Ce fut le point de départ de l'industrie de l'acétylène. Entre ces diverses publications se place, en février 1893, une observation de M. Travers, à Londres, qui, en chauffant dans un four Perrot un mélange de chlorure de calcium, de charbon en poudre et de sodium, obtint une masse grise contenant 16 p. 100 de carbure de calcium décomposable par l'eau. Il utilisa l'acétylène dégagé à la préparation d'acétylures de mercure.

A la même époque (août 1892), un ingénieur américain, M. Willson, à la fin d'un brevet, pris aux États-Unis, sur la préparation des bronzes d'aluminium, avait fait une courte allusion à un carbure de calcium indéterminé, en même temps qu'à un grand nombre de corps simples ou composés. Il n'indiquait, du reste, aucune propriété du carbure en question.

M. Bullier, en France, et M. Willson, en Amérique, ont été les promoteurs militants de l'industrie du carbure de calcium, mais la découverte appartient à M. Moissan dont les travaux avaient seuls la précision et la portée nécessaires pour inspirer, sur les propriétés du nouveau produit, la confiance indispensable à toute entreprise industrielle. C'est peut-être là une des raisons pour laquelle la fabrication du carbure de calcium

devint, presque à son début, l'objet d'une industrie importante et prospère. Les usines électro-chimiques déjà existantes où l'on fabriquait l'aluminium ou des chlorates trouvèrent dans la fabrication du carbure de calcium un emploi très rémunérateur de leur puissance disponible; puis de nombreuses usines s'élevèrent dans le but spécial de la fabrication du carbure.

En 1899, M. Borchers comptait déjà 93 usines dans lesquelles on fabriquait ce produit, dont le tiers environ en France. On a même craint que l'augmentation de la production du carbure fût trop rapide et eût pour conséquence un avilissement de prix rendant impossible une rémunération équitable des capitaux engagés, mais cette crainte ne paraît pas avoir arrêté le développement de l'industrie électro-chimique qui ne cesse de prospérer. Nous avons eu occasion de dire comment le mouvement considérable provoqué par la fabrication du carbure avait eu pour conséquence de rapides perfectionnements dans la construction des fours, progrès dont bénéficient toutes les branches de l'électro-métallurgie.

En dehors de la production de l'acétylène pour l'éclairage, une application récente des carbures comme réducteurs des oxydes et des chlorures a été faite à la métallurgie. Nous en citerons plus loin un exemple.

Dans l'énumération des récompenses attribuées aux producteurs de carbure de calcium, nous retrouvons, à côté des fabriques consacrées uniquement à ce produit, les usines électro-métallurgiques et électro-chimiques les plus importantes, dont il a été question dans un chapitre précédent.

En premier lieu, nous citerons la Compagnie électro-métallurgique des procédés Gin et Leleux dont nous avons signalé les fours électriques perfectionnés et qui s'occupe plus spécialement de l'installation d'usines pour la fabrication du carbure de calcium. Cette compagnie était hors concours; une médaille d'or de collaborateur a été décernée à l'ingénieur distingué, chef du service technique de la compagnie, M. A. Keller.

Parmi les grands prix accordés, nous rappellerons celui de la célèbre maison Siemens et Halske, de Berlin, qui a construit les premiers fours électriques industriels. Rappelons aussi le grand prix de collaborateur accordé à l'électricien éminent attaché à la maison, le Dr Fröhlich.

Le four électrique, à marche continue, dans lequel est fabriqué le carbure de calcium a son électrode supérieure creuse, et l'oxyde de carbone formé s'échappe par le tube creux en charbon qui constitue cette électrode et est allumé à sa sortie.

La maison Siemens et Halske exposait un certain nombre de produits métalliques obtenus par la *méthode du carbure de calcium :* on mêle, dans des proportions déterminées par la formule chimique, l'oxyde d'un métal, le chlorure du même métal et du carbure de calcium; on chauffe plus ou moins suivant les cas et on obtient : de l'acide carbonique, du chlorure de calcium et le métal; cette réaction ne s'applique pas seulement aux métaux comme le fer, le cuivre, etc., mais aussi aux métaux légers, le

calcium, le baryum, etc., aux métaux alcalins, le potassium, le sodium, etc. Elle forme une méthode nouvelle et puissante pour extraire les métaux des oxydes, des chlorures et des minerais grillés en formant des alliages.

La puissance de cette réaction est très grande avec le cuivre; il suffit d'une allumette enflammée pour commencer la réaction et pour obtenir en quelques instants du cuivre fondu. Les métaux alcalins eux-mêmes, par cette réaction, se séparent de leurs combinaisons. Par exemple, on obtient un alliage de sodium et de plomb en faisant agir du carbure de calcium sur de l'oxyde de plomb et du chlorure de sodium.

La maison Siemens et Halske exposait des lingots de cuivre, des alliages de cuivre et de nickel, du bronze d'aluminium, du bronze ordinaire, du maillechort, du bronze silicié, des alliages de cuivre et manganèse, cuivre et calcium (alliage nouveau), cuivre et silicium, du nickel, du ferro-nickel, un alliage de fer et manganèse, du wolfram, produits obtenus tous par le procédé du carbure de calcium.

La Société d'électro-chimie (Paris), qui exploite le procédé Goldschmidt, exposait aussi, parmi ses produits, du carbure de calcium.

La Société des carbures métalliques (Paris), qui exploite les brevets Bullier, s'est presque uniquement consacrée à la fabrication du carbure de calcium. Le Jury lui a décerné un grand prix.

Fondée en 1896, elle a aujourd'hui les usines et succursales suivantes :

Notre-Dame de Briançon (Savoie), 3,500 chevaux;

Usine de la Rageat (Savoie), 6,600 chevaux situés à 15 kilomètres et transportés à 15,000 volts;

Usines annexes;

Société hydro-électrique des Pyrénées, usine du Castelet (Ariège), 2,500 chevaux;

Soc^té franco-suisse pour l'industrie électrique, usine à Bellegarde (Ain), 4,500 chevaux;

Société espagnole des carbures métalliques, usine à Berya (Espagne), 3,500 chevaux;

Soit en tout 20,500 chevaux, dont 10,000 dans les deux usines principales. Depuis 1899, la Société a adjoint à son usine de Notre-Dame de Briançon une usine pour la fabrication des électrodes et a produit 1,500 tonnes chaque année. La production de carbure a été évaluée à 5,000 tonnes à 300 francs pour l'année 1900, avec la prévision d'une production de 10,000 tonnes au même prix pour l'année 1901.

Une médaille d'or a été décernée à M. Ch. Bertolus qui, dans sa fabrique de Bellegarde (Ain), exploite le four triphasé dont il est l'inventeur et sur lequel nous avons donné plus haut quelques détails sommaires. La puissance de ce four varie de 300 à 1,000 chevaux. M. Bertolus exposait, entre autres produits, un bloc de carbure de calcium, de 1,200 kilogrammes, obtenu au four triphasé de 1,000 chevaux.

Rappelons encore parmi les médailles d'or celle de la maison Corbin et Cie dont

les usines sont à Chedde, près Sallanches (Haute-Savoie), et à Lancey (Isère), et qui, à côté de la cellulose et de divers produits électro-chimiques, exposait également du carbure de calcium.

La Compagnie française des carbures de calcium, de Sechilienne (Isère), a obtenu une médaille d'argent pour les produits qu'elle exposait et parmi lesquels il faut signaler une série d'échantillons de carbure de calcium concassés à des grosseurs bien déterminées et exempts de poussières; la forme arrondie des morceaux et leur grosseur régulière les rendent propres au meilleur usage dans les appareils à chute de carbure dans l'eau. Citons encore des carbures agglomérés et des carbures enrobés, recouverts d'une couche qui les protège contre l'humidité de l'air sans empêcher l'attaque par l'eau. Les usines de cette compagnie utilisent, à Séchillenne, les eaux de la Romanche. La puissance totale des chutes est de 4,500 chevaux, dont 1,200 sont actuellement utilisés.

La Compagnie générale d'électro-chimie, dont les usines, mines et carrières sont à Bozel (Savoie), a obtenu une médaille d'argent. La société utilise la force hydraulique de Ballandaz, d'une puissance de 4,000 chevaux, au Villard, près de Bozel. L'usine est destinée à la fabrication de tous les produits qu'on peut obtenir au four électrique, notamment du carbure de calcium et du ferro-silicium. Les matières premières employées actuellement (anthracite et calcaire) sont extraites des concessions que la compagnie a acquises et qui sont à proximité de l'usine de Bozel.

Le calcaire contient 98,5 p. 100 de carbonate de chaux.

L'anthracite est moins pur, sa teneur en cendres est de 25 p. 100, dont les neuf dixièmes sont de la silice pure. Ce fait a permis à la Compagnie d'élaborer un procédé au moyen duquel elle obtient dans les fours, en dehors d'un carbure de calcium très pur, du ferro-silicium comme sous-produit d'une teneur de 25 à 50 p. 100.

La Compagnie exposait :

1° Des échantillons des matières premières;

2° Les produits de sa fabrication actuelle, carbures dont le rendement en acétylène varie de 310 à 340 litres à 0 degré et 760 millimètres par kilogramme de carbure, plus deux échantillons de ferro-silicium à 25 p. 100 et à 50 p. 100.

Ajoutons encore qu'une médaille d'argent a été accordée à M. Macé, à Paris, pour son exposition de carbure de calcium.

La Société anonyme d'exploitation de la lampe de sûreté à l'acétylène *l'Inexplosible* et de fabrication de carbure de calcium utilise, près de Saint-Michel (Savoie), une force hydraulique empruntée à l'Arc et qui varie entre 1,300 et 3,000 chevaux. Sa production annuelle est de 1,000 à 1,400 tonnes. Elle exposait divers échantillons de carbure. Le Jury lui a décerné une médaille de bronze.

La même distinction a été accordée à la Société électro-chimique du Giffre, à Annecy (Haute-Savoie), qui fabrique exclusivement du carbure de calcium. Cette société possède deux usines, l'une au Pont-du-Giffre (Haute-Savoie), l'autre à Bellegarde (Ain). La force hydraulique disponible dans l'usine principale est de 8,400 chevaux pendant dix mois de l'année, et cette force est utilisée en totalité. La production annuelle est estimée à 6,000 tonnes de carbure, au prix de 300 francs la tonne.

Enfin, nous signalons, en terminant, l'exposition des produits de carbure de calcium obtenus par MM. Rochette frères, à Epierre (Savoie). La puissance utilisée dans leur usine est de 1,300 chevaux et la production annuelle, de 1,000 tonnes de carbure.

ALUMINIUM.

Jusqu'en 1827 on n'avait pu isoler les métaux des terres, parce que ces corps, irréductibles par le charbon aux températures que l'on pouvait atteindre alors, sont en même temps dénués de pouvoir conducteur de l'électricité. Œrsted, après avoir découvert le chlorure d'aluminium, avait essayé de décomposer ce corps par les métaux alcalins. Cette méthode remarquable permit à Wöhler d'isoler l'aluminium, puis le glucinium et le zirconium. L'aluminium était alors une poudre grisâtre, et ce fut seulement en 1840 que Wöhler parvint à obtenir l'aluminium en petits globules métalliques. On était loin de penser alors que l'aluminium pouvait devenir un métal usuel. On sait que cette découverte est due à M. Sainte-Claire-Deville, en 1854. La préparation industrielle, au début, a présenté de grandes difficultés parce qu'il fallait alors créer trois industries connexes, fournissant les matières premières à la préparation : l'alumine, le chlorure d'aluminium, le sodium.

Pendant longtemps, depuis 1859 jusqu'en 1889, on prépara l'aluminium, par le procédé Deville, dans l'usine de Salindres (Gard), qui appartient aujourd'hui à la *Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue.*

Le procédé consistait à réduire le chlorure double d'aluminium et de sodium par le sodium, dans un four à réverbère de forme spéciale; on ajoutait un fondant approprié, la cryolithe, fluorure double d'aluminium et de sodium.

Le métal ainsi produit était loin d'être pur et d'avoir les qualités que nous lui connaissons aujourd'hui.

Les procédés chimiques furent ensuite perfectionnés, surtout au point de vue économique, par Castner, Netto, Grabau, Baldwin, etc. L'aluminium, qui aurait coûté 3,000 francs le kilogramme en 1827, valait 300 francs en 1857 et 80 francs en 1886. C'est à ce moment qu'apparaissent les premiers produits des fours électriques, et le prix du métal tomba rapidement à 12 francs en 1889, puis à 6 francs le kilogramme en 1890; il vaut aujourd'hui environ 3 francs.

Bunsen, en 1852, eut l'idée d'électrolyser un bain de chlorure double d'aluminium et de sodium pour obtenir le métal pur, mais il ne put appliquer industriellement

cette réaction. M. Sainte-Claire-Deville reprit et perfectionna la même idée, sans la rendre encore pratique.

En 1885, les frères Cowles, au moyen d'un des fours électriques dont il a été question plus haut, préparèrent des alliages d'aluminium avec le fer et le cuivre, en introduisant dans le four, avec le métal à combiner, un mélange d'alumine et de charbon. Le courant employé atteignait 5,000 ampères.

Peu après, en 1886, M. Héroult prit un brevet pour l'électrolyse de l'alumine dissoute dans un bain de cryolithe en fusion; plus tard, il breveta l'électrolyse de l'alumine pure en fusion (1887) en même temps qu'il imaginait le four dont nous avons parlé et d'où dérivent la plupart des fours industriels actuels; ces différents procédés, perfectionnés par MM. Héroult et Kiliani, en 1889, ont fonctionné à Neuhausen (Suisse) et à Froges (Isère). L'aluminium obtenu a atteint 97 p. 100 du métal pur.

En 1887, M. Minet, conduit par une étude approfondie des conditions de l'électrolyse du fluorure d'aluminium en fusion ignée, obtenait de l'aluminium en quantité notable, soit par l'électrolyse du fluorure d'aluminium seul, soit plus tard en électrolysant un mélange de fluorure d'aluminium et d'alumine. M. Minet paraît être le premier à avoir livré au commerce des lingots d'aluminium électrolytique suffisamment pur. Dans l'intervalle de ces essais, en 1888, M. Hall avait breveté en Amérique un procédé fondé sur l'électrolyse de la cryolithe et de l'alumine, qui paraît semblable à celui de M. Héroult, au moins en principe. Nous n'avons pas à intervenir ici dans les questions de priorité ni de validité de brevets, et notre rôle est de comprendre ici dans un hommage commun les noms des trois promoteurs du seul procédé qui ait survécu actuellement dans l'industrie de l'aluminium, MM. Minet, Héroult et Hall.

Le procédé consiste à électrolyser un bain de cryolithe fondue, contenant de l'alumine en dissolution, bain que l'on alimente d'une manière continue avec de l'alumine anhydre.

Les sociétés qui produisent l'aluminium sont actuellement : en France, la *Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue,* à Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie), procédé Hall; la *Société d'électro-métallurgie française,* à Froges (Isère) et à la Praz (Savoie), procédés Héroult et Kiliani; en Suisse, en Allemagne et en Autriche, la *Société pour l'industrie de l'aluminium,* à Neuhausen (Suisse), à Rheinfelden (Bade), à Gastein (Autriche), procédés Héroult et Kiliani; en Angleterre, la *British aluminium Company,* à Foyers (Écosse), procédés Héroult et Kiliani; en Amérique, la *Pittsburgh reduction Company,* à Niagara Falls, procédé Hall.

La force totale employée est d'environ 50,000 chevaux hydrauliques qui, en 1899, ont produit plus de 5,000 tonnes d'aluminium, représentant 16 millions de francs.

Il convient encore de signaler ici les applications de plus en plus nombreuses de l'aluminium et de ses alliages, non seulement dans la confection d'ustensiles d'équipement, de bateaux démontables, de roues de bicyclettes et de mille autres petits objets, mais encore des applications plus importantes, telles que l'emploi de l'aluminium ou de

ses alliages, comme conducteurs de transmission de l'énergie électrique, comme lignes téléphoniques et télégraphiques, pour la confection de toutes sortes de pièces métalliques dans les automobiles, pour la carrosserie, etc., et même une application qui dans ces derniers temps a pris un développement assez rapide en Amérique et en Allemagne, la substitution de l'aluminium en plaques aux pierres lithographiques.

De toutes les fabriques d'aluminium, une seule, la Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue, avait exposé dans la Classe 24.

La Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue est l'ancienne Société Péchiney et Cie, qui a été la première à s'occuper de la fabrication industrielle de l'aluminium. C'est à son usine de Salindres (Gard) que fut installé, en 1859, le procédé de H. Sainte-Claire-Deville, dont l'exploitation fut continuée jusqu'en 1889, au moment où ce procédé dut cesser devant la concurrence des procédés électriques.

En 1897, elle devint propriétaire de l'usine de Saint-Michel (Savoie), où elle fabrique actuellement l'aluminium par le procédé Hall, dont elle a acquis les brevets.

L'usine est située sur la rive gauche de l'Arc à son confluent avec la Valloirette. La chute d'eau utilisée a 154 mètres de hauteur et fournit une force électrique d'environ 3,500 chevaux. La Compagnie étudie en ce moment le projet d'augmenter l'utilisation de la chute. La Compagnie fabrique elle-même toutes les matières premières qui lui sont nécessaires, les anodes en charbon à Saint-Michel, l'alumine et les fluorures à son usine de Salindres (Gard).

L'aluminium fabriqué est d'une très grande pureté; la Compagnie livre du métal à 99,5 p. 100 de pureté garantie et même jusqu'à 99,75 p. 100.

Ces teneurs ne sont pas exceptionnelles, mais constituent la majeure partie de sa fabrication, et elle ne fabrique aucun produit à teneur inférieure à 98 p. 100.

La Compagnie exposait des plaques et des lingots d'aluminium, des cylindres et des objets coulés. Les poids des plaques varient de 7 à 50 kilogrammes.

Le Jury, considérant les services que la Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue ou ses devanciers n'ont cessé de rendre à l'industrie, lui a décerné un grand prix.

ALUMINOTHERMIE.

L'aluminium est un métal doué d'une activité chimique considérable et son affinité pour l'oxygène en fait un réducteur puissant dont les propriétés ont été récemment utilisées de la manière la plus intéressante, au point de vue industriel, par M. Hans Goldschmidt, à Essen. Nous rappellerons qu'en 1896 M. Moissan avait déjà utilisé cette propriété pour obtenir des alliages d'aluminium avec les métaux réfractaires. M. Goldschmidt, profitant de la grande quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'aluminium, a fondé toute une métallurgie nouvelle reposant sur les propriétés réductrices de l'aluminium et permettant d'obtenir les métaux purs ou leurs alliages.

La chaleur dégagée peut encore être utilisée à diverses applications et en particulier à la soudure du fer.

L'aluminium réduit ainsi un grand nombre d'oxydes, en mettant le métal en liberté.

Dans la plupart des cas, il suffit de provoquer la réaction en un point du mélange; elle se propage d'elle-même dans toute la masse; par suite de la chaleur dégagée, le métal et l'alumine fondent et se séparent. Le mélange d'oxyde métallique à réduire et d'aluminium en grains est disposé dans un creuset; au-dessus de ce mélange, on dépose quelques grammes d'un mélange de bioxyde de baryum et d'aluminium que l'on enflamme avec un fil de magnésium. La réaction se propage dans toute la masse, et, à mesure qu'elle se produit, on ajoute de nouvelles quantités du mélange d'oxyde à réduire et d'aluminium; on peut en ajouter ainsi indéfiniment, la réaction commençant d'elle-même au contact des parties incandescentes; lorsque l'on juge qu'une quantité suffisante d'oxyde à réduire a été introduite, on arrête l'opération. On trouve au fond du creuset un culot de métal fondu, et, au-dessus, de l'alumine fondue, ou corindon. Ce produit secondaire résiste remarquablement à l'usure et peut être employé à faire des meules.

Les creusets employés peuvent être, suivant les températures atteintes, soit en terre, soit en magnésie.

Pour opérer sur des grandes quantités, on construit des sortes de fours en terre réfractaire pouvant contenir quelques centaines de kilogrammes de métal. L'alumine brûle avec une telle rapidité que la séparation d'assez grandes quantités de métal ne dure guère plus d'une demi-heure.

On peut préparer ainsi soit des métaux exempts de carbure, chrome, manganèse, fer, etc., soit des alliages, chromo-cuivre, ferro-titane, ferro-bore, etc.

La production considérable de chaleur mise en jeu dans ces réactions a été utilisée pour le travail des métaux; la méthode a ce grand avantage qu'on peut doser la chaleur fournie en employant une masse déterminée de mélange, généralement de l'oxyde de fer et de l'aluminium.

Parmi les usages que l'on peut faire de l'élévation de température due à la combustion du mélange, il convient de citer, comme l'un des plus importants, la *soudure* du fer.

On obtient, par exemple, avec la plus grande facilité la soudure des rails ou la soudure en bout de deux tubes de fer. Pour effectuer une soudure importante, on pèse d'avance la quantité du mélange que l'expérience a montrée être nécessaire, on la met dans un creuset spécial et on allume le mélange. On obtient du fer métallique liquide sous une couche d'alumine fondue. On a alors disposé autour des bouts à souder une forme en tôle mince soutenue à l'extérieur avec du sable dans une caisse. Quand le creuset est complètement rempli de matière fondue, on en verse le contenu dans la forme. L'alumine fondue qui s'écoule d'abord ou qui reste à la surface du bain entoure d'abord les pièces à souder, s'y solidifie en formant une couche mince qui les protège contre l'action du fer fondu, dans lequel elles baignent en dernier lieu. Pen-

dant ce temps les morceaux à souder sont pressés l'un contre l'autre. Quand le tout est refroidi, le fer coulé se détache facilement et les bouts sont soudés de manière à pouvoir supporter des efforts considérables.

La même méthode a pu être employée à souder des pièces relativement délicates, telles qu'une partie destinée à refaire une dent cassée dans une roue d'engrenage qui, sans cette réparation, eût été mise hors d'usage.

L'application de cette méthode a d'abord eu lieu à Essen, où la *Chemische Thermo-industrie* fabrique du chrome et du manganèse ainsi que les mélanges de toutes sortes pour chauffage.

En France, la *Société d'électro-chimie,* dirigée par M. Gall, a acquis récemment une licence pour l'exploitation de ces procédés.

PRÉPARATION AU FOUR ÉLECTRIQUE DE DIVERS MÉTAUX.

La haute température du four électrique a permis de généraliser certaines réactions que l'on regardait comme limitées parce que l'échelle des températures dont on pouvait disposer était insuffisante.

Nous avons vu plus haut comment M. Moissan a pu réaliser ainsi un grand nombre de décompositions qui étaient régardées jusque-là comme impossibles.

Un certain nombre de métaux n'avaient jamais été préparés à l'état de pureté; les opérations au four électrique ont permis à M. Moissan d'obtenir, soit des métaux purs, soit des produits beaucoup plus purs que ceux qui avaient été préparés antérieurement. Il en est résulté la constatation de propriétés nouvelles pour chaque métal préparé avec une pureté de plus en plus grande; M. Moissan a repris ainsi et poursuit encore l'étude méthodique de tous les métaux, surtout des métaux réfractaires dont les véritables propriétés étaient peu connues ou mêmes inconnues.

Dans l'annexe de la Classe 24, M. Moissan exposait une collection complète des nombreux produits qu'il a pu préparer dans l'ensemble de ses belles recherches, concernant les applications calorifiques et chimiques du courant électrique.

Parmi les nouveaux corps on peut citer : les métaux réfractaires, chrome, manganèse, molybdène, tungstène, titane, uranium, vanadium, etc., les uns à l'état de pureté, les autres formant des fontes à 2 ou 3 p. 100 de carbone. Les carbures définis de ces métaux, dont la plupart étaient inconnus, carbure d'aluminium, carbure de titane, de vanadium, de zirconium, carbures des métaux alcalino-terreux, et parmi ceux-ci le carbure de calcium cristallisé, origine de l'industrie de l'acétylène. Puis encore les siliciures, les borures, les azotures de la plupart de ces éléments.

A côté de la vitrine de M. Moissan, un certain nombre de composés préparés par ses élèves occupaient l'une des vitrines.

M. Lebeau, notamment, exposait un échantillon de glucinium cristallisé, obtenu par électrolyse, du bronze de glucinium, du carbure de glucinium décomposable par l'eau,

avec production de méthane et un certain nombre de siliciures, arséniures et antimoniures préparés à l'aide du four électrique de M. Moissan. Nous mentionnerons encore quelques composés de tungstène à M. Defacqz; un nouveau sulfure de molybdène et quelques dérivés de ce même métal à M. Guichard. Une série de sulfures métalliques cristallisés, la plupart par voie de volatilisation au four électrique, appartenant à M. Mourlot, des phosphures cristallisés de M. Maronneau et de M. Jaboin; quelques zirconates à M. Renaux; les oxydes doubles cristallisés de M. Dufau; les carbures doubles de quelques métaux de la famille du fer, à M. Percy Williams, etc.

Dans le même ordre de faits, la maison Siemens et Halske, dont nous avons parlé plus haut, présentait divers produits obtenus au four électrique, par la réduction d'oxydes métalliques au moyen du charbon. L'addition de certaines matières peut, à la température du four, enlever la plus grande partie des impuretés et permettre d'obtenir un métal ou un alliage de valeur industrielle. Citons parmi les produits exposés un alliage de cuivre et de fer, et du zinc distillé au four électrique.

Une médaille d'or a été attribuée à la société La Néo-Métallurgie, à Paris, dont l'usine est à Rochefort-sur-Mayenne, près de Laval. Cette société est la première qui ait transporté dans le domaine industriel les nouveaux procédés métallurgiques imaginés dans le laboratoire par M. H. Moissan. On trouve dans la vitrine de cette société, dans l'annexe de la Classe 24, des produits industriels absolument nouveaux, tels que le titane, le molybdène et le tungstène fondus, des ferro-chrome affinés, exempts de carbure, des ferro-bore, ferro-silicium, ferro-titane, etc. Voici la composition de quelques-uns de ces produits :

Ferro-chrome (Cr 67, Fe 33); ferro-bore (Fe 80, Bo 20); ferro-titane (Fe 85, Ti 15); ferro-silicium (Fe 67, Si 33); alliage de nickel et de titane (Ni 70, Ti 30); alliages de nickel et de molybdène (Ni 50, Mo 50) et (Ni 25, Mo 75); alliage de fer et tungstène (Fe 30, Tn 70).

Citons encore l'exposition de M. Clerc, à Paris, qui exposait divers produits métallurgiques obtenus au four électrique au moyen d'un appareil dans lequel on se sert de l'arc uniquement comme source de chaleur en évitant toute électrolyse. M. Clerc a obtenu une médaille d'argent.

CARBORUNDUM.

Le siliciure de carbone cristallisé est un composé d'une grande dureté, qui a reçu aujourd'hui des applications importantes et variées.

Le siliciure de carbone amorphe a été découvert par M. Schutzenberger. Le siliciure cristallisé a été obtenu par M. Acheson, en chauffant au four électrique un mélange de silice, de coke, d'alumine et de chlorure de sodium. Le siliciure de carbone cristallisé ainsi obtenu est coloré en bleu par le fer. M. Acheson a réalisé ensuite la préparation

industrielle de ce composé, dont il a utilisé la grande dureté et auquel il a donné le nom de *carborundum*.

Antérieurement à cette préparation, M. Moissan, dans ses recherches sur la cristallisation du carbone, avait obtenu de petits cristaux de siliciure de carbone, mais il n'a rien publié sur ce point, de sorte que la découverte du siliciure de carbone cristallisé revient à M. Acheson.

M. Moissan a préparé ensuite le siliciure de carbone par quatre procédés : 1° combinaison directe du silicium avec le carbone, entre 1,200 et 1,400 degrés; 2° préparation au four électrique, soit par combinaison de la silice et du carbone qui donne de très beaux cristaux, lesquels sont incolores lorsque le siliciure est exempt de fer, soit par cristallisation dans le fer fondu, le fer en est ensuite enlevé par l'eau régale; 3° réduction de la silice par le charbon, au four électrique; 4° action de la vapeur de carbone sur la vapeur de silicium, à la plus haute température du four électrique.

Le siliciure de carbone a une stabilité très grande et résiste aux réactifs les plus énergiques. Ses cristaux sont des rhomboèdres; ils se divisent à l'infini sans perdre leurs arêtes tranchantes.

M. Acheson, qui a installé la fabrication industrielle de ce produit, a opéré avec des fours de grandes dimensions, composés d'une cuve en matériaux réfractaires dans laquelle plongent des électrodes de charbon réunies par un noyau de charbon granulaire destiné à être porté à l'incandescence par le courant. C'est autour de ce noyau qu'est placé le mélange de coke, de sable de verrerie et de sel marin destiné à être porté à l'incandescence. Après le traitement, le noyau de charbon est entouré d'une couche de graphite et de carborundum; autour de cette couche, une couche de carborundum en cristaux radiés, composés de 63 p. 100 de silicium, 36 de carbone et 1 p. 100 d'impuretés, puis ensuite du siliciure de carbone amorphe, et enfin le mélange non transformé. Dans les usines du Niagara, les fours ont 4 m. 60 de longueur sur 2 m. 15 de large et 1 m. 85 de profondeur. Les électrodes, capables de laisser passer un courant de 7,000 ampères sous 185 volts, sont formées de 60 tiges de charbon de 7 centimètres et demi de diamètre. Chacun de ces fours donne 2 tonnes de cristaux de carborundum par opération, et chaque opération dure environ vingt-quatre heures.

Voici quelques applications industrielles de ces produits : meules en poudres de carborundum agglomérées de différentes grosseurs employées pour les mêmes usages que les meules à l'émeri; polissage des diamants et pierres précieuses; molettes diverses; dépolissage et gravure sur verre; toile carborundum pour polissage des métaux; polissage des pierres dures et du granit en particulier.

La production en 1898 était de 795 tonnes.

Le carborundum amorphe, obtenu à la température de 2,200 degrés, est un produit réfractaire des plus remarquables qui peut être employé avec succès pour le garnissage des solos de fours métallurgiques, parce qu'à l'inverse de ce qui a lieu pour les cristaux il n'est pas soluble dans le fer en fusion.

Le Jury a décerné un grand prix à M. Acheson.

VII

APPLICATIONS DIVERSES.

STÉRILISATION INDUSTRIELLE DES EAUX POTABLES PAR L'OZONE.

On sait aujourd'hui que l'eau d'alimentation est très souvent le véhicule des germes des maladies infectieuses et, depuis que cette constatation a été faite, les hygiénistes et les ingénieurs s'efforcent de rechercher des procédés permettant d'éliminer aussi complètement que possible les microbes pathogènes que renferment trop souvent les eaux captées par les villes.

De nombreux moyens ont déjà été proposés pour arriver à ce but ; les uns tendent à modifier le mode de captation des sources pour éviter, dans la mesure du possible, leur contamination ; les autres ont pour objet la séparation ou la destruction des germes dont on n'a pu éviter la présence dans les eaux qu'il s'agit de livrer à la consommation.

Presque toutes les méthodes d'épuration que l'on a proposées jusqu'ici présentent des inconvénients sérieux, surtout lorsqu'il s'agit de les employer sur une large échelle.

Les filtres à terre poreuse, excellents pour filtrer l'eau à domicile s'ils sont bien surveillés, ont un débit trop faible et coûtent trop cher pour qu'on puisse les utiliser à épurer l'eau d'alimentation d'une ville entière. La moindre fissure et le défaut d'entretien rendent la filtration illusoire.

La filtration sur couches de sable améliore les eaux, mais ne donne jamais une sécurité suffisante.

La stérilisation par la chaleur est actuellement trop coûteuse; en outre, elle prive l'eau des gaz dissous, précipite des sels dont la présence peut constituer l'une des qualités de l'eau, et laisse les matières organiques altérées. Il faut donc soumettre ensuite l'eau à une aération et à un filtrage ultérieurs.

Les méthodes d'épuration, soit physiques, par coagulation, en précipitant les matières en suspension par de l'argile en poudre ou des oxydes de fer, soit chimiques, en ajoutant des traces de sublimé, de permanganates, de composés chlorés, ont l'inconvénient d'introduire des produits étrangers ou nuisibles. Parmi les oxydants inoffensifs dans l'eau par leur faible solubilité, on peut citer l'ozone, qui détruit les microbes.

Les premiers essais industriels de stérilisation par l'ozone furent tentés en 1891, avec l'aide de MM. Siemens et Halske, de Berlin, par le Dr Frölich, qui indiqua comme application immédiate la stérilisation de l'eau. Le Dr Ohmüller, chargé d'étudier les propriétés microbicides de l'ozone, constata que les microbes du charbon, du typhus, du choléra, etc., étaient détruits, et que la quantité d'ozone consommé ne dépendait que

IMPRIMERIE NATIONALE.

de la quantité de matières organiques contenues dans l'eau. En 1893, M. le Bon Tindal, en Hollande, reprit la question avec l'aide du chimiste allemand Schneller. Toutes les qualités oxydantes et stérilisantes de l'ozone, qui font de l'eau traitée une eau purifiée, aérée et débarrassée de matières organiques, furent de nouveau établies. Les difficultés rencontrées par les divers expérimentateurs étaient de deux sortes : manque de concentration de l'ozone; mauvais contact entre l'eau et l'ozone. En 1895, MM. Marmier et Abraham reprirent la question, d'abord au laboratoire, puis industriellement en 1898-1899, pour l'assainissement des eaux de la ville de Lille, et ils paraissent avoir réussi complètement.

Notons seulement que ces appareils ne sont pas les seuls qui aient été proposés. D'autres inventeurs, M. Tyndal, M. Andreoli, ont indiqué diverses dispositions ; M. Otto a repris et développé également des procédés analogues.

Parmi les ozoniseurs industriels, l'un des plus intéressants est celui qui a été construit par M. Verley. Une lame d'aluminiun est fixée sur une plaque d'ardoise ; un trou central est destiné à l'évacuation des gaz. Sur cette plaque repose, au moyen de nombreuses cales en verre d'une épaisseur uniforme, une plaque de verre argentée extérieurement. L'argenture et la plaque d'aluminium sont soumises à des variations périodiques de potentiel, qui produisent des effluves entre la plaque de verre et la plaque d'aluminium. Les cales de verre constituent de nombreux canaux au travers desquels l'air aspiré par l'ouverture centrale s'ozonise fortement sans subir d'échauffement notable. Le rendement est amélioré par l'emploi de décharges oscillantes d'un condensateur. L'ozone produit est employé industriellement à la fabrication des parfums et à l'épuration des jus sucrés; le Jury n'ayant pas eu à examiner ces appareils, il ne peut être fait mention ici qu'au point de vue historique d'une installation industrielle qui donne de bons résultats.

La Société industrielle de l'ozone avait installé à l'Exposition, dans l'annexe de la Classe 24, des appareils pour la production de l'ozone, destiné à la stérilisation de l'eau d'après les procédés de MM. Marmier et Abraham.

Le Jury a décerné à ces appareils un grand prix.

L'ozoneur se compose de plateaux en fonte juxtaposés, ayant chacun 1 m. 60 de diamètre et dont les faces soigneusement alésées laissent entre elles un intervalle destiné à la production de l'effluve. Sur la face de chaque plateau vient s'appliquer une glace de 2 mètres sur 2 mètres, formant diélectrique. Onze plateaux ainsi combinés donnent entre eux une surface totale d'effluve de 20 mètres carrés.

La différence de potentiel entre les plateaux est de 35,000 à 40,000 volts. L'énergie était fournie par le service électrique de l'Exposition, sous forme de courants alternatifs dont un transformateur spécial élevait la tension à 40,000 volts.

Pour protéger les plateaux contre les élévations fortuites de potentiel, MM. Marmier et Abraham ont eu l'heureuse idée de placer en dérivation sur les plateaux un déflagrateur constitué par deux boules distantes d'environ 20 millimètres, et continuellement soufflé par un courant d'air comprimé. Ce déflagrateur a pour effet de maintenir le

potentiel constant au bord des glaces et, en outre, d'augmenter la fréquence des oscillations sur les plateaux de l'ozoneur.

La puissance que cet appareil peut absorber est de 100 kilowatts, à raison de 5 kilowatts par mètre carré de surface d'effluve.

Dans la production d'effluves aussi intenses, le refroidissement de l'appareil ne saurait se faire par la circulation de l'air. Ce refroidissement est obtenu au moyen d'une circulation d'eau dans les électrodes ; il est alors indispensable que l'eau qui sert à la réfrigération soit isolée. Pour y arriver, MM. Marmier et Abraham ont alimenté leur réfrigérateur au moyen d'un courant d'eau qui tombe sous forme de pluie. La discontinuité des gouttes assure l'isolement d'une manière parfaite.

L'ozoneur était capable de produire environ 6 kilogrammes d'ozone à l'heure, à la concentration de 6 milligrammes par litre, et pouvait assurer la stérilisation de 200,000 mètres cubes d'eau par jour.

L'ozone ainsi produit est amené, pour sa mise en contact avec l'eau qu'il s'agit de stériliser, dans une colonne verticale dans laquelle l'eau ruisselle de haut en bas, pendant que l'ozone, au contraire, est envoyé de bas en haut. On avait dû renoncer, dans l'espace restreint dont la Société disposait, à établir une colonne de dimensions suffisantes pour recevoir et stériliser les 200,000 mètres cubes correspondant à la puissance de l'ozoneur. L'excès d'ozone était évacué dans l'air à une hauteur suffisante pour gêner le moins possible le voisinage. La concentration de l'ozone était contrôlée par le procédé à l'iodure de potassium ; une trompe aspirante permettant de prélever à la sortie de l'ozoneur et avant l'entrée dans la colonne un volume déterminé d'air ozoné.

Le Jury a pu être témoin de la grande production d'ozone par cet appareil ; quant aux résultats pratiques obtenus, le Jury a pu se reporter aux termes du rapport présenté en 1899 à la municipalité de Lille sur les procédés de MM. Marmier et Abraham, au nom d'une commission composée de MM. le Dr Staes-Brame, le Dr Roux, de l'Institut ; M. Buisine, M. Bouriez et M. le Dr Calmette, rapporteur. Il résulte des expériences et analyses faites par la Commission que le procédé de stérilisation des eaux d'alimentation par l'ozone, basé sur l'emploi des appareils ozonateurs et de la colonne de stérilisation de MM. Marmier et Abraham, est d'une efficacité incontestable, supérieure à celle de tous les procédés alors connus susceptibles d'être appliqués à de grandes quantités d'eau ; que tous les microbes pathogènes que l'on rencontre dans les eaux étudiées sont parfaitement détruits par le passage des eaux dans la colonne ozonatrice. Seuls quelques germes de *Bacillus Subtilis* (microbe du foin) subsistent. Ce bacille est, du reste, inoffensif pour l'homme et les animaux, et résiste à la plupart des moyens de destruction, même au chauffage à la vapeur à 110 degrés. L'ozonisation n'apporte dans l'eau aucun élément étranger préjudiciable à la santé des personnes appelées à en faire usage. Au contraire, par suite de la non-augmentation de la teneur en nitrates et de la diminution considérable de la teneur en matières organiques, les eaux soumises au traitement de l'ozone sont moins sujettes aux pollutions ultérieures et par suite beaucoup moins altérables.

Telles sont les raisons qui ont conduit le Jury à accorder un grand prix au procédé de MM. Marmier et Abraham.

APPAREIL RIEDER POUR LA GRAVURE ÉLECTROLYTIQUE DES MÉTAUX.

L'une des nouveautés les plus intéressantes et les plus ingénieuses qu'ait eues à examiner le Jury de la Classe 24 est l'invention de M. Rieder pour obtenir électrolytiquement des matrices gravées profondément dans des blocs d'acier.

Le prix de revient élevé des matrices gravées à la main avait conduit M. Rieder à rechercher un procédé électrolytique, et après avoir surmonté diverses difficultés, il a réussi à construire une machine donnant des résultats excellents et réduisant considérablement la durée de l'obtention et le prix des gravures.

Le procédé consiste essentiellement à mettre en contact d'une part un bloc d'acier et, d'autre part, un moule en relief, en plâtre, imbibé d'une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque. Si l'on fait passer un courant dans le système, en reliant l'acier au pôle positif, celui-ci est attaqué aux points touchés par le moule ; il se forme du chlorure de fer soluble. On peut imaginer que par un contact prolongé le moule pénètre de plus en plus dans les régions attaquées et finisse par creuser une cavité qui corresponde exactement au relief.

En réalité, les choses se passent moins simplement : au bout de quelques secondes d'action, l'électrolyte qui imbibe le plâtre est profondément modifié et doit être renouvelé ; le carbone uni au fer dissous, ainsi que d'autres impuretés doivent être enlevés mécaniquement, et enfin au bout de quelque temps le moule a perdu de sa finesse et doit être remplacé. Toutes ces opérations se font mécaniquement. Le bloc à graver est fixé très solidement sur un bâti métallique. Le moule en plâtre plongeant dans une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque, qui l'imbibe par capillarité, est approché périodiquement du bloc d'acier par une table mobile qui l'amène toujours dans la même position ; le contact dure 15 secondes environ, puis la table s'abaisse ; un système de brosses nettoie l'acier pendant qu'un rouleau humide renouvelle la dissolution à la surface supérieure du moule, et l'opération recommence, le moule pénétrant chaque fois plus profondément à l'intérieur du bloc d'acier. Tous les mouvements se font automatiquement au moyen de châssis ajustés avec la plus grande précision.

La différence de potentiel nécessaire est de 12 à 15 volts. Le courant varie avec la surface attaquée et peut atteindre 50 ampères lorsque la surface d'attaque est de 600 centimètres carrés.

Comme il était très difficile d'appliquer doucement le modèle en plâtre de manière à le ménager, on protégeait les parties les plus saillantes par des appendices préservateurs qui commençaient l'attaque en même temps que celles-ci, mais en des points qui devaient n'être attaqués que plus tard. Quand les moules étaient altérés, on leur en substituait d'autres identiques très exactement repérés.

Chaque modèle permet de pénétrer de 1 à 2 millimètres de profondeur dans le

bloc d'acier. La matrice, une fois terminée, n'a besoin que de légères retouches pour pouvoir être utilisée.

La réduction considérable du temps de l'obtention et l'économie que réalise ce procédé permettent de penser qu'il se généralisera dans les diverses branches de l'industrie où l'on a besoin de coins, de platines, ou de moules résistants pour l'obtention d'estampages et de modèles divers.

La machine de M. Rieder, fonctionnant avec une grande perfection, était exposée par la *Société l'Électrogravure* de Leipzig.

Le Jury a accordé à la Société une médaille d'or et à l'inventeur, M. Rieder, une médaille d'or de collaborateur.

FABRICATION DU NOIR DE FUMÉE AU MOYEN DE L'ACÉTYLÈNE.

(PROCÉDÉ DE M. E. HUBOU.)

M. Hubou (E.) exposait dans l'annexe de la Classe 24 un appareil au moyen duquel il produit par la combustion de l'acétylène un noir de carbone qu'il appelle *noir d'acétylène*. Le Jury a décerné à cette intéressante application une médaille d'argent.

On sait que le noir de fumée s'obtient par la combustion incomplète d'un grand nombre de substances telles que le goudron, les résidus de la distillation de la résine, etc. L'emploi du noir de fumée dans la fabrication des encres d'imprimerie, des cirages, des vernis noirs, des couleurs noires, etc., a fait de cette fabrication une industrie importante.

Pour la plupart des applications, il faut un noir de bonne qualité, et celui que l'on préfère est le noir de lampe, que l'on obtient généralement en faisant lécher des surfaces refroidies par des flammes éclairantes d'huile ou de gaz. La grande proportion de carbone que contient l'acétylène a fait songer à utiliser la combustion de ce produit.

Divers inventeurs, et M. Hubou lui-même, ont d'abord essayé la combustion incomplète d'une flamme d'acétylène, mais les produits obtenus sont toujours souillés par divers produits de la combustion, qui donnent au noir une teinte plus ou moins rousse. M. Hubou a utilisé la propriété caractéristique de l'acétylène, découverte par MM. Berthelot et Vieille, d'être explosif à une pression supérieure à 2 atmosphères. Il comprime l'acétylène à une pression peu élevée dans un récipient dont la résistance est appropriée, puis, comme dans les expériences de MM. Berthelot et Vieille, il le fait détoner au moyen d'un courant électrique; il se produit du carbone et de l'hydrogène; M. Moissan avait établi antérieurement que le carbone ainsi produit est remarquablement pur.

L'appareil d'essai exposé dans l'annexe de la Classe 24 se composait d'un tube en acier très résistant, fermé à ses extrémités par des obturateurs à vis et à pointes métalliques. L'un des obturateurs est muni d'un robinet à pointeau servant à l'introduction de l'acétylène, et muni d'un bouchon de mise de feu dont la partie essentielle est un fil métallique que l'on porte au rouge par un courant électrique; l'autre obturateur porte un crusher destiné à mesurer la pression au moment de la décomposition. On commence

par chasser l'air de l'appareil en y faisant passer de l'hydrogène provenant d'une opération précédente, puis on fait arriver de l'acétylène comprimé à 5 atmosphères; on ferme le récipient et on provoque la décomposition par le passage du courant; on recueille dans un gazomètre l'hydrogène produit, après l'avoir fait passer dans des flacons laveurs, puis on dévisse les bouchons pour retirer le carbone pulvérulent qui remplit la capacité du tube.

Ces essais ont montré que, conformément aux expériences de MM. Berthelot et Vieille, la pression maximum au moment de la décomposition est d'environ 75 atmosphères. Le noir de fumée est supérieur comme pureté et comme qualité aux noirs de fumée commerciaux les plus renommés.

M. Hubou en présentait des échantillons, puis diverses applications, entre autres des dessins tirés avec des encres lithographiques et typographiques préparées au moyen de ce noir, dont les qualités apparaissent par la comparaison avec les mêmes épreuves tirées avec d'autres produits.

D'après les renseignements fournis par M. Hubou, pour une usine produisant annuellement 100 tonnes de noir d'acétylène, le prix de revient serait d'environ 1 fr. 10 par kilogramme, correspondant à un prix de vente notablement inférieur à celui des noirs de lampe. M. Hubou fait aussi remarquer que dans beaucoup de cas on trouverait, dans la fabrication du noir d'acétylène, l'utilisation de résidus et de déchets de carbure de calcium; que l'on pourrait avantageusement utiliser d'autres carbures alcalino-terreux donnant des sous-produits ayant une valeur commerciale, et qu'enfin l'hydrogène préparé en grande quantité et à bon marché pourrait trouver un emploi. Ces considérations permettent de penser que la fabrication du noir d'acétylène et de ses dérivés est appelée à prendre un développement industriel d'une certaine importance.

VIII

INDUSTRIES CONNEXES.

FABRICATION DES CHARBONS AGGLOMÉRÉS POUR L'ÉLECTRICITÉ.

Parmi les industries connexes des applications électriques, l'une des plus importantes est la fabrication des conducteurs en charbon.

Les premiers brevets relatifs à la fabrication des charbons agglomérés pour les usages électriques sont ceux de Staite et Edwards et datent de 1846. Parmi les autres brevets qui furent pris dans la suite, ceux de Jacquelain et de Gauduin comptent parmi les plus intéressants, mais c'est seulement en 1877 que Carré fit entrer cette fabrication dans une voie industrielle, le charbon aggloméré devenant alors un objet de première nécessité pour la fabrication des piles au peroxyde de manganèse et pour les nombreuses lampes à arc qui surgirent après l'apparition de la machine de Gramme.

Les débuts de la nouvelle industrie furent pénibles. On fabriqua d'abord des plaques pour piles, remplaçant les plaques de charbon de cornue scié. Ces plaques étaient fabriquées avec du coke des cornues à gaz, pulvérisé, aggloméré avec du goudron et moulé à une pression peu considérable. La résistance mécanique était faible et la résistance électrique élevée.

La fabrication des charbons à lumière, à laquelle la création de la lampe Jablokoff donna la première impulsion sérieuse, était plus délicate, et les premières lampes à arc exigèrent des produits fabriqués avec plus de soins encore.

On fit un choix plus minutieux des matières premières, de manière à diminuer la production des cendres, et, après avoir cherché un procédé chimique d'épuration des cokes, on obtint plus de succès en adjoignant à la pâte du noir de fumée qui, en augmentant la plasticité du mélange, donne de grandes facilités pour la fabrication.

Carré fit la première presse pour le tirage des charbons à lumière cylindriques, au milieu desquels on introduisait une âme pour donner plus de fixité à l'arc. Ces charbons étaient étuvés lentement à 700 ou 800 degrés, après le tirage, pour éviter la casse au moment de la cuisson à une température élevée.

Peu à peu, les proportions des mélanges, l'outillage mécanique de la fabrication, les procédés de cuisson se perfectionnèrent; on construisit des presses hydrauliques permettant de tirer des charbons de 30 et de 50 millimètres de diamètre, avec une pression de 100 kilogrammes par centimètre carré, puis on se servit de fours à gaz qui permirent de cuire les charbons d'une manière plus uniforme et à des températures

plus élevées. Enfin, l'emploi des fours continus à cuisson lente et progressive jusqu'à des températures très élevées amena la suppression de l'étuvage préalable. Nous verrons plus loin comment l'emploi du four électrique de MM. Girard et Street réalisa comme dernier perfectionnement la transformation superficielle du charbon en graphite.

Actuellement la fabrication des charbons agglomérés pour l'électricité, qu'il s'agisse de charbons à lumière, de plaques pour piles, d'électrodes ou de balais, qui ne diffèrent que par le choix et la proportion des matières premières, s'effectue en général de la manière suivante :

Le coke de cornue pulvérisé à une finesse plus ou moins grande est mélangé à du noir de fumée s'il y a lieu, et en l'agglomérant dans des appareils à hélices qui rendent le mélange aussi complet que possible; la matière granuleuse retirée des mélangeurs est transformée en pâte, sous des meules; cette pâte est ensuite pilonnée, de façon à constituer des cartouches, que l'on introduit dans des cylindres compresseurs pour les faire passer à la filière. Les charbons, sortis de la filière et coupés à longueur convenable, sont placés dans des creusets de terre, au milieu de poudre de coke, et recuits dans des fours.

Généralement, ces fours sont des fours à gaz continus, dans lesquels les creusets nouvellement enfournés sont chauffés progressivement et méthodiquement par les produits de la combustion avant d'être soumis directement à l'action du feu qui peut porter les matières à une température de 1,400 à 1,700 degrés. On laisse les creusets refroidir dans les fours avant de les défourner.

Les charbons une fois cuits peuvent être soumis à un travail mécanique ultérieur suivant les usages auxquels ils sont destinés.

La fabrication des pièces de microphonie se fait par moulage. Elle nécessite l'emploi de pâtes très plastiques, très soigneusement travaillées, à grain très fin; ces pâtes sont estampées et recuites dans des creusets brasqués, à une température très élevée.

L'électro-chimie et l'électro-métallurgie ont donné récemment un nouvel essor à l'industrie de la fabrication des charbons agglomérés. Elles lui demandent par quantités considérables des électrodes dont les dimensions atteignent 1 m. 50 de long, et jusqu'à 0 m. 30 de côté et dont le poids est d'environ 250 kilogrammes.

Ces énormes pièces exigent un matériel spécial extrêmement puissant.

Il s'est monté en France et à l'étranger des usines assez nombreuses, qui ont dû se spécialiser chacune dans des fabrications différentes.

Trois maisons françaises avaient seules exposé dans la Classe 24, et parmi elles l'une des plus considérables, la société *Le Carbone*, dont nous allons d'abord passer en revue les produits.

La Société *Le Carbone*, à Paris, qui en 1883 avait succédé à la maison Lacombe et Cie, était hors concours par suite de la présence dans le Jury d'un de ses ingénieurs les plus distingués. Cette société exposait à la fois des charbons de toutes sortes et des

piles qu'elle avait été amenée à exploiter pour donner un débouché nouveau aux produits de sa fabrication de charbons pour piles. Nous avons mentionné antérieurement ces piles et nous n'y reviendrons pas ici.

Dans la fabrication des charbons et surtout des pièces en charbon, la Société *Le Carbone* s'est acquis une supériorité incontestée.

Pour les charbons à lumière, après de grands sacrifices pour améliorer le charbon à lumière primitif, elle dut restreindre sa fabrication de charbons à lumière pour porter tous ses efforts sur celle de certains produits nouveaux dont elle s'est fait une spécialité; le balai en charbon en est le principal.

Les premiers balais en charbon dont on se servit sur les machines datent de 1886. C'étaient des morceaux de charbons à lumière ou de plaques pour piles. Dès cette époque la Société *Le Carbone* chercha, pour cette nouvelle application, à fabriquer un charbon de meilleure qualité que ceux dont on faisait alors usage, et qui fût mieux approprié à l'emploi auquel on les destinait.

Les facilités que possède le balai en charbon pour assurer une bonne conductibilité généralisèrent son emploi.

A cette époque la société *Le Carbone* fut assez heureuse de pouvoir s'assurer le concours de MM. Girard et Ch. Street dans la recherche d'un procédé industriel pour cuire les charbons à la température la plus élevée qu'il soit possible d'atteindre. C'est à ces ingénieurs qu'est dû le procédé de transformation superficielle du carbone amorphe en graphite au moyen de fours électriques à marche continue.

Le balai électro-graphitique peut être employé dans la plupart des cas où l'on était obligé de conserver des balais métalliques. Le service des balais forme dans l'usine de la société un département bien distinct; les opérations diverses du calibrage et du travail font l'objet d'une petite industrie spéciale occupant 110 ouvriers et produisant annuellement plus de 1 million et demi de balais.

A côté de cette fabrication principale, on doit citer la fabrication de pièces de microphonie, pièces moulées, granules, grenaille, diaphragmes construits avec le plus grand soin et universellement appréciés.

Enfin, la Société *Le Carbone* a concouru pour sa part au développement de l'industrie électrique, en appliquant le charbon électro-graphitique à la fabrication de la soude électrolytique, puis, récemment, à l'électro-métallurgie.

Ajoutons encore d'autres spécialités, telles que celles de la fabrication de charbons pour la soudure électrique, celle des résistances en charbon, des moules pour la cuisson des filaments des lampes à incandescence.

La Société possède une usine à Levallois-Perret, occupant 340 ouvriers et 30 employés; ses usines de graphitation sont à Notre-Dame-de-Briançon et à Francfort-sur-le-Mein, et occupent une cinquantaine d'ouvriers.

Fours électriques Girard et Street. — On ne saurait terminer ce résumé sans donner quelques indications sur les fours électriques continus que MM. Girard et Street

ont brevetés en 1893. Les matières à traiter traversent le four. Celui-ci est en terre réfractaire. Dans un des modèles destiné à la cuisson de barres de charbon, la barre à chauffer est animée d'un mouvement de translation horizontal au travers du four et constitue l'une des électrodes. L'autre électrode est fixe, de sorte que l'arc reste fixe dans l'espace et jaillit successivement de tous les points d'une génératrice de la pièce à chauffer qu'elle porte ainsi à une température très élevée.

La vitesse de translation de la pièce commande la température qu'elle peut atteindre. La chauffe peut se produire dans une atmosphère appropriée; lorsque l'on veut recuire des matières pulvérulentes, on peut les disposer dans un tube en charbon. Souvent on produit deux arcs partant à la fois d'une même région de la pièce à chauffer.

Pour répartir d'une manière plus égale l'action de l'arc électrique sur les matières en traitement, MM. Girard et Street ont imaginé de faire tourner l'arc à l'intérieur du four en créant un champ magnétique convenable : par exemple, dans le cas des barres, le champ est parallèle à celle-ci. Il est produit par des solénoïdes placés à l'extérieur du four.

La combinaison du mouvement de translation de la pièce et de la rotation de l'arc a pour effet de faire toucher par l'arc tous les points de la superficie de cette pièce.

Le même principe de l'arc tournant a été appliqué à d'autres modèles de fours, par exemple à des chauffe-creusets, dans lesquels l'arc, jaillissant entre le creuset et une électrode, tourne tout autour de la surface du creuset. Un autre type consiste à chauffer un creuset placé à l'intérieur d'un tube en charbon vertical présentant une interruption en regard du creuset; l'arc jaillit entre les deux moitiés du tube et enveloppe le creuset. Il tourne sous l'action d'un champ tournant obtenu avec des courants alternatifs biphasés.

La haute température à laquelle est porté le charbon le transforme en graphite, du moins superficiellement. L'usure des électrodes dans les fours est extrêmement faible. Les températures obtenues sont telles que l'on est arrivé à cintrer des lames de charbon en les soumettant à une pression en bout.

Pour une même intensité et une même vitesse de translation, la capacité de transformation du carbone varie avec le mélange qui compose la pièce à transformer. La transformation en graphite est plus grande quand il contient 2 p. 100 de silice ou d'acide borique, ou un peu de fer. La nature du gaz ambiant paraît avoir peu d'influence, sauf peut-être quand ce gaz est l'hydrogène.

Les matières étrangères que contiennent les charbons sont, soit volatilisées, soit transformées en carbures très difficilement attaquables aux acides. La conductibilité des charbons est augmentée dans le rapport de 1 à 4; la résistance à la combustion et à l'action des alcalis fondus est très considérablement augmentée; la densité augmente dans les proportions de 1,95 à 2,6, la proportion de carbone transformé en graphite atteignant 85 p. 100.

Les propriétés particulières de ces nouveaux charbons permettent de les employer avec avantage comme électrodes pour lampes à arc, comme anodes dans les opérations

électrolytiques et comme balais collecteurs de courant dans les machines. Elles peuvent contribuer, dans une large mesure, au développement de l'industrie de l'électrolyse, en permettant de faire passer dans la pratique industrielle de nombreux procédés qui, jusqu'à présent, sont restés dans le domaine du laboratoire.

Les deux autres fabricants de charbons ayant exposé dans la Classe 24 ont obtenu l'un et l'autre une médaille d'argent pour la bonne qualité de leurs produits. Ce sont : M. Berne (A. Johanny), à Paris, qui présentait des charbons artificiels pour l'électricité, des charbons pour lampes à arc et des balais en charbon pour dynamos; des charbons pour fours électriques, et enfin des plaques pour piles et accumulateurs; puis MM. Mors et Cie, à Courbevoie, qui présentaient une série de charbons agglomérés, vases poreux en charbon pour piles, éléments pour automobiles, charbons pour piles, balais en charbon.

Nous avons donné plus haut le résumé des méthodes qui servent aujourd'hui à fabriquer ces produits.

APPLICATION DU VERRE MOULÉ À L'ÉLECTRICITÉ.

Société anonyme des Manufactures de Saint-Gobain, Chauny et Cirey. — L'Exposition universelle de 1900 est la première où la verrerie ait figuré à un rang spécial comme accessoire de l'industrie électrique. L'importante *Société anonyme des Manufactures de Saint-Gobain, Chauny et Cirey* avait fait une exposition particulière pour mettre en évidence tous les services que la verrerie rend aujourd'hui à l'électricité et le Jury a accordé une médaille d'or à cette exposition.

Au premier rang de l'application qui nous occupe spécialement, il faut placer les bacs d'accumulateurs en verre moulé par le procédé Appert. On sait que ce procédé consiste essentiellement dans le renversement des procédés de moulage employés antérieurement, où la masse fluide étant versée dans un moule on y fait descendre le noyau intérieur réservant le vide de la pièce. Dans le procédé Appert, le moule, ouvert par le bas, livre passage au noyau qui y pénètre en moulant. Le procédé donne des pièces moulées d'une régularité absolue, avec un fond complètement plan et des épaisseurs partout égales. L'extérieur est composé de parties lisses et de parties striées déterminées par l'application du procédé et qui ont pour but de retenir la matière pâteuse pendant le moulage. Les types de ces bacs au nombre de 75 avaient des capacités variant de 4 à 100 litres.

A côté de ce produit important, la Société de Saint-Gobain exposait encore des pièces isolantes en verre moulé de toutes sortes, plaques isolantes, isolateurs, tasseaux, supports, isolateurs de rails électriques, dalles, etc.

Enfin, il convient de signaler encore une nouvelle matière vitreuse dite *opaline*, pouvant servir de support à des tableaux de distribution, former des socles d'appareils, et supérieure à l'ardoise, au marbre et au bois, par son inaltérabilité et sa résistivité.

Cette matière peut s'employer laminée ou moulée. L'usage des hautes tensions électriques exige des isolements de plus en plus grands, et le verre, qui est isolant dans toute sa masse, offre sur les matières diverses émaillées l'avantage de rester isolant malgré des fissures superficielles.

MATIÈRES ISOLANTES DIVERSES.

Société française de l'ambroïne. — Une médaille d'or a été accordée à la *Société française de l'ambroïne,* filiale de la *Compagnie générale d'électricité,* qui exposait des bacs d'accumulateurs et tout un matériel isolant fabriqué avec un produit nouveau *ambroïne,* sorte d'aggloméré de pâte d'amiante et de copal.

La fusion de la matière s'obtient entre 150 et 300 degrés, suivant sa composition; elle peut supporter des températures de 80 à 250 degrés. Elle est inaltérable par les agents atmosphériques, par l'eau acidulée, et ne perd pas ses qualités isolantes à l'humidité.

On peut l'appliquer sur un grand nombre de pièces métalliques dont la surface devient isolante, mais son emploi principal est celui des bacs d'accumulateurs en ambroïne, qui ne se cassent pas comme le verre et sont beaucoup plus légers. Ils trouvent une application dans les batteries de traction pour lesquelles la diminution de poids est un facteur de première importance.

La Société anonyme des anciens établissements Parvillée frères et Cie, qui fabrique spécialement les porcelaines et les ferrures pour les isolateurs des lignes télégraphiques, présentait un grand nombre de pièces qui peuvent servir pour les câbles aériens ou les canalisations souterraines transportant les courants destinés aux opérations électrochimiques; mais ces objets sont du domaine d'une autre classe, et nous ne saurions entrer ici dans plus de détails sur cette exposition.

APPAREILS POUR ÉLECTROLYSE.

L'importante maison Poulenc frères exposait divers appareils électro-chimiques, des appareils pour dosages électrolytiques, un four électrique modèle de laboratoire, modèle vertical destiné à des essais rapides et fréquents. On remarquait en outre un appareil pour la production industrielle du fluor.

Cet appareil, construit dans le but d'essais industriels, ne comporte pas de joints en fluorine et présente une assez grande surface des électrodes. Les cellules anodique et cathodique sont séparées par un diaphragme électriquement inactif, assurant la séparation des deux gaz hydrogène et fluor, tout en ne diminuant que très peu le passage du courant au travers de l'électrolyte. Des dispositifs permettent d'accroître à volonté les surfaces des électrodes, de refroidir les anodes pour en amoindrir l'attaque, et de réduire considérablement la résistance de l'électrolyte entre les électrodes, et par suite

d'élever le rendement électrolytique du courant et de diminuer l'échauffement de l'électrolyte.

L'intérêt de ces appareils et les services que la maison Poulenc frères a rendus et continue à rendre aux recherches et aux applications électro-chimiques justifient amplement la médaille d'or qui lui a été accordée.

Une médaille d'or a été attribuée à la maison Contenau et Godard fils, à Paris, pour les services qu'elle a rendus aux recherches électro-chimiques par la construction d'appareils pour l'électrolyse, appareils à fluor de M. Moissan, en platine ou en cuivre, flacons en densité, électrodes de formes diverses, appareils spéciaux pour l'étude du fluor, fluorines taillées, etc., ainsi que divers autres appareils, pour la plupart en platine.

Dans le même ordre de faits, une médaille de bronze a été accordée à M. Heraeus, à Hanau (Allemagne), qui exposait dans diverses classes des appareils en platine, platine et or, argent et aluminium, pouvant servir à l'électro-chimie et, dans la Classe 24, des baguettes réfractaires recouvertes d'un alliage de platine et de silicium, alliage conducteur, s'échauffant par le passage d'un courant et servant pour le chauffage électrique ou d'autres usages, application qui, du reste, était en dehors du domaine de l'électro-chimie.

COMPOSITION DU JURY.

BUREAU.

MM. Fontaine (Hippolyte), ingénieur électricien, administrateur de la Société Gramme (comités, jury, Paris 1889; président des comités, Paris 1900), président honoraire du Syndicat des industries électriques, vice-président du Comité technique de l'électricité de l'Exposition universelle de 1900, *président* ..... France.

Hering (Carl), rédacteur du *Digest of Electricity*, président de la Société des ingénieurs électriciens des États-Unis, *vice-président* ..... États-Unis.

Janet (Paul), professeur à l'Université de Paris, directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'électricité (comités, Paris 1900), *rapporteur* ..... France.

Josse (Hippolyte), conseil technique des services du contentieux de l'Exposition universelle de 1900 (comités, Paris 1900), *secrétaire* ..... France.

JURÉS TITULAIRES FRANÇAIS.

MM. Cance (Alexis), ingénieur électricien (comités, médaille d'or, Paris 1889; comités, Paris 1900) ..... France.

Ebel (Georges), ingénieur des arts et manufactures, directeur de la Compagnie d'éclairage électrique du secteur des Champs-Élysées (comité d'admission, Paris 1900) ..... France.

Martine (Gaston), application et fournitures générales pour l'électricité, conseiller du commerce extérieur de la France ..... France.

Meyer (Ferdinand), ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur de la Compagnie continentale Edison (hors concours, Paris 1889; comités Paris 1900), président du Syndicat professionnel des usines d'électricité. France.

Violle (Jules), membre de l'Institut, professeur du cours de physique appliquée aux arts au Conservatoire national des arts et métiers (comités, Paris 1900) ..... France.

JURÉS TITULAIRES ÉTRANGERS.

MM. von Miller (Oscar), ingénieur électricien, à Munich ..... Allemagne.

Jüllig, professeur, à Vienne ..... Autriche.

Dulait (J.), ingénieur administrateur-gérant de la Société «Électricité et Hydraulique», à Charleroi ..... Belgique.

Swinburne (Jos) ..... Grande-Bretagne.

Bonghi (Mario), ingénieur électricien ..... Italie.

Palaz, ingénieur électricien, professeur d'électricité industrielle à l'École des ingénieurs de Lausanne ..... Suisse.

Smirnoff (Alexandre), ingénieur électricien, chef du service électrique à la Cour impériale ..... Russie.

JURÉS SUPPLÉANTS FRANÇAIS.

MM. Miet (Maurice), ingénieur des arts et manufactures, ancien directeur de l'usine de la Compagnie d'éclairage du secteur de la rive gauche, secrétaire du comité technique de l'électricité de l'Exposition universelle de 1900 ..... France.

Roux (Gaston), directeur du bureau du contrôle des installations électriques, secrétaire du comité technique de l'électricité de l'Exposition universelle de 1900 ..... France.

Soubeyran (Adrien), ingénieur civil des mines, ancien ingénieur principal de la Société d'éclairage électrique du secteur de la place Clichy, secrétaire du Comité technique de l'électricité de l'Exposition universelle de 1900 ..... France.

JURÉS SUPPLÉANTS ÉTRANGERS.

MM. Thomson Lyon (H.), membre de l'Institut des ingénieurs électriciens et du Conseil de la Société royale asiatique ..... Grande-Bretagne.

Vater (Joseph), conseiller technique au Ministère royal du commerce.... Hongrie.

EXPERTS.

MM. Boisserand (Philibert), ingénieur électricien, directeur de la station électrique de Compiègne ..... France.

Millet (Théodore), bronzes d'éclairage ..... France.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

AVANT-PROPOS.

La Classe 25 (Éclairage électrique) comprenait, outre les appareils d'éclairage proprement dit, les compteurs, l'appareillage et les bronzes appliqués à l'éclairage électrique. Nous diviserons notre étude en quatre parties :

I. Compteurs;
II. Éclairage électrique par arc;
III. Éclairage électrique par incandescence;
IV. Appareillage.

Nous y joindrons une courte note sur les appareils d'éclairage, renvoyant pour plus de détails sur cette partie au rapport de la Classe 97.

Lorsque le Jury me confia les délicates fonctions de rapporteur, il exprima le désir que, pour la branche spéciale de l'Éclairage électrique, l'Exposition de 1900 devînt l'occasion d'un travail d'ensemble destiné non seulement à fixer l'état actuel de cette industrie, mais encore à rassembler une série de documents expérimentaux où pourraient puiser les chercheurs de l'avenir. Notre éminent président, M. Hippolyte Fontaine, dont la haute compétence, les vues toujours justes et la profonde affabilité nous laisseront un souvenir ému de cette période des opérations du Jury, attacha la plus grande importance à cette idée; c'est par son appui continuel qu'elle a pu être mise à exécution, et c'est à lui que nous dédierons ce travail.

D'autre part, par ma situation de directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'électricité, je me trouvais avoir à ma disposition des moyens de recherche exceptionnels; le laboratoire de photométrie du Laboratoire central, grâce à ses étalons photométriques soigneusement étudiés depuis de longues années, grâce aussi à son banc photométrique de précision (écran Lummer et Brodhun), à son grand appareil à deux miroirs pour la répartition lumineuse des lampes à arc, et au lumenmètre que M. Blondel a bien voulu y déposer, nous permettait d'entreprendre toutes les recherches intéressant la lumière électrique; les fonds nécessaires à ce travail furent prélevés en partie sur les fonds de la Classe 25, et en partie furent faits par les exposants eux-mêmes qui abandonnèrent généreusement les excédents disponibles. La partie expérimentale de ce travail a été exécutée sous ma direction, au Laboratoire central d'électricité, par M. F. Laporte, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur civil

des mines, sous-directeur du Laboratoire, assisté de M. Léonard, ancien élève des Écoles nationales d'arts et métiers, ingénieur diplômé de l'École supérieure d'électricité. J'ai trouvé, chez M. Laporte et chez M. Léonard, le concours le plus habile et le plus dévoué. Je tiens à les en remercier ici publiquement. Les mesures et les essais qu'ils ont effectués ont porté sur les points suivants:

1° Étude photométrique des charbons; 2° étude du fonctionnement des lampes à arc; 3° étude photométrique de quelques lampes en vase clos; 4° étude des lampes nouvelles (lampe Bremer, lampe Nernst); 5° étude photométrique et essais de durée de lampes à incandescence. On trouvera dans la suite de ce rapport les principaux résultats obtenus.

Nous terminerons par une remarque : ayant uniquement en vue d'établir certains résultats d'ordre scientifique et technique, nous avons jugé préférable de désigner par des notations conventionnelles les appareils ou produits (lampes à arc, lampes à incandescence, charbons pour arc) que nous avons été à même d'expérimenter. L'examen de ces résultats donnera une idée d'ensemble sur l'état actuel de nos connaissances en ce qui concerne la production de la lumière électrique; on ne devra donc pas y chercher un jugement définitif sur la valeur de tel ou tel produit ou appareil industriel; trop d'éléments, en effet, interviennent dans un tel jugement pour qu'on puisse l'asseoir sur un seul ordre de considérations : en particulier, il serait tout à fait injuste de ne pas tenir compte de la question commerciale, et nous ne pouvions songer à entrer dans cet ordre de considérations.

Nous ne ferons d'exception à cette règle que pour la lampe Bremer et la lampe Nernst qui constituaient les deux nouveautés les plus intéressantes de la Classe 25.

Nous avons eu entre les mains, à propos de ce rapport, un très grand nombre de documents; nous avons formé, de ces documents, une collection qui est déposée à la Bibliothèque de la Société internationale des électriciens, où l'on peut la consulter.

PREMIÈRE PARTIE.

LES COMPTEURS ÉLECTRIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

LES COMPTEURS.

Les compteurs électriques employés à l'heure actuelle se partagent en trois groupes: les compteurs d'énergie, les compteurs de quantité et les compteurs horaires. Ces trois groupes existaient déjà lors de l'Exposition de 1889; mais on peut dire que, depuis cette époque, le premier surtout a reçu les développements les plus importants: c'est lui qui était surtout représenté à l'Exposition de 1900.

COMPTEURS D'ÉNERGIE.

L'énergie dépensée dans un circuit est le produit de la puissance par le temps; plus exactement, c'est l'intégrale du produit de la puissance par l'élément de temps. L'instrument qui sert à mesurer la puissance est le wattmètre : tout compteur d'énergie sera un wattmètre intégrateur. Mais, de même qu'au point de vue mathématique, une intégration peut s'effectuer de plusieurs manières, de même, au point de vue physique, il peut exister un grand nombre de procédés pour arriver au même résultat, et la sagacité des inventeurs s'est appliquée à mettre en pratique ces divers procédés. Les meilleures solutions seront celles qui, non seulement donneront des indications exactes (dans la pratique courante, on doit considérer comme bons des compteurs qui donnent une approximation de 2 à 3 p. 100), mais encore celles qui amèneront à des instruments simples, rustiques, peu susceptibles de dérangement, n'exigeant pas grand entretien et peu coûteux.

Avant de décrire en détail les compteurs que nous avons eu occasion d'examiner et, pour quelques-uns, d'expérimenter, nous essaierons d'indiquer d'une manière générale les procédés divers d'intégration que nous avons pu distinguer.

Dans un wattmètre ordinaire, le couple qui s'exerce entre les deux systèmes de bobines est équilibré par un couple de torsion proportionnel à l'angle de torsion; mais si on cesse de s'opposer ce couple, la bobine mobile (ou l'organe analogue) prendra un mouvement de rotation que, moyennant certains artifices (collecteurs, etc.), on pourra rendre continu.

Si alors on oppose à ce couple moteur un couple résistant *proportionnel à la vitesse,*

l'organe mobile prendra une vitesse proportionnelle au couple moteur, c'est-à-dire, en somme, à la puissance à mesurer. Le chemin parcouru par l'organe mobile, ou l'intégrale de la vitesse par rapport au temps, est alors proportionnel à l'énergie, et ce chemin parcouru peut se traduire par le mouvement d'une ou de plusieurs aiguilles sur des cadrans divisés; le couple proportionnel à la vitesse s'obtient aisément grâce à l'emploi des courants de Foucault induits dans un disque métallique tournant dans un champ magnétique constant.

C'est là le principe des compteurs moteurs ou compteurs à intégration continue dont nous trouverons de nombreux représentants. Les uns s'appliquent (ou peuvent en principe s'appliquer) indifféremment au courant continu ou alternatif: ce sont ceux qui reposent sur le principe du wattmètre à deux bobines (Thomson, Vulcain, Lux, Peloux); les autres s'appliquent uniquement au courant alternatif; ce sont ceux qui s'appuient sur l'entraînement d'une masse métallique par un champ tournant ou, plus exactement, sur la réaction de deux champs présentant une différence de phase, sur les courants de Foucault induits par ces champs dans une masse métallique (Blathy, Hummel, A.-E.-G., Siemens, Hélios, Batault).

Dans les appareils qui précèdent, la force motrice qui met en marche le compteur est précisément proportionnelle à la puissance à mesurer et, comme on l'a vu, pour que l'instrument soit exact, il faut que le couple résistant soit proportionnel à la vitesse.

Les couples supplémentaires dus au frottement mécanique, toujours fort petits d'ailleurs, mais qui prennent de l'importance aux faibles charges, entraînent quelques erreurs que l'on peut corriger approximativement par des artifices appropriés (compoundage, etc.).

Mais pour les éliminer complètement, on a cherché à réaliser des appareils dans lesquels la force motrice (toujours empruntée au courant lui-même pour plus de simplicité) est quelconque et largement suffisante pour assurer le mouvement des organes mobiles et dans lesquels le rôle du système de mesure se borne, comme pour le pendule dans les horloges, à en régler la vitesse. A ces principes nous rattacherons les compteurs Aron et les compteurs oscillants de l'« Allgemeine El. Gesellschaft ».

Ces appareils font avancer le système mobile de quantités constantes à des intervalles de temps variables. On peut, au contraire, faire avancer le système mobile de quantités variables à des intervalles de temps égaux. C'est le principe des compteurs dits *à intégration discontinue* (Brillié, Brown et Routin, Holden).

Nous diviserons donc notre étude en trois parties:

Compteurs moteurs;

Compteurs oscillants;

Compteurs à intégration discontinue.

COMPTEURS MOTEURS.

a. **Compteurs fondés sur le principe du Wattmètre à deux bobines.** — *Compteurs Thomson.* — Le plus connu de ces appareils est le compteur Thomson, dont tous les autres dérivent. Il n'est que juste d'ailleurs de rappeler que ce compteur, dans ses lignes générales, a été décrit en 1889 dans le rapport de M. Potier sous le nom de *compteur Desroziers.* A cette époque, le compteur démarrait trop difficilement pour être employé dans sa forme actuelle. De nombreux perfectionnements l'ont rendu pratique et amené à la forme très parfaite sous laquelle l'exposait la *Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz* (*France*).

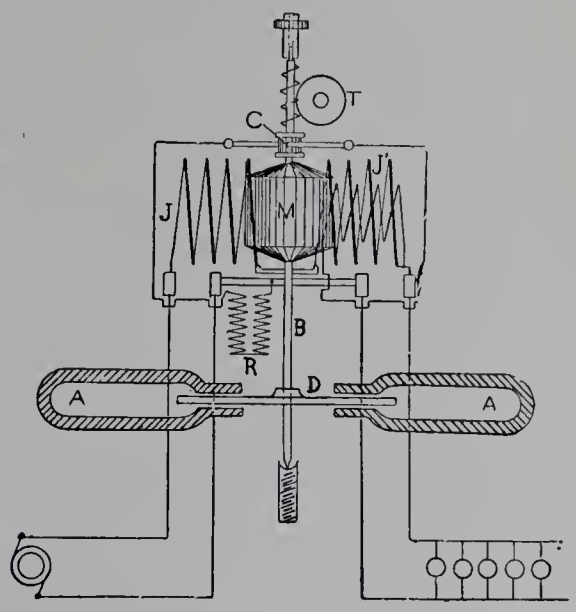


Fig. 1.

Sur un arbre vertical B monté sur pivot (fig. 1) se trouvent calés un moteur M qui fournit un certain travail et un amortisseur D qui absorbe ce travail. Le moteur est caractérisé par l'absence totale de fer, aussi bien dans l'inducteur que dans l'induit : on élimine ainsi toutes les variations provenant des irrégularités du magnétisme dans le fer. L'inducteur, formé de deux bobines fixes, est traversé par le courant total à mesurer. Dans le champ grossièrement uniforme de ces bobines est placé l'induit en tambour monté sur l'arbre vertical B; le collecteur, monté sur le même arbre, est formé de douze lamelles d'argent, et les balais sont également en argent. Cet induit, à fil fin et à grande résistance, est monté en dérivation sur le réseau où l'on veut mesurer la puissance, et le courant qui le traverse est proportionnel à la tension du réseau. On en conclut immédiatement que le couple moteur est proportionnel à la puissance à mesurer. Le couple résistant, proportionnel à la vitesse, est obtenu au moyen d'un disque de cuivre D mobile entre les pôles d'un aimant A. La vitesse est alors proportionnelle à la puissance à mesurer, et, pour totaliser l'énergie ou, ce qui revient au même, l'espace parcouru, il suffit de mettre une vis sans fin sur l'arbre de l'appareil, et de lui adapter un compteur de tour T. La figure 2 donne l'aspect général du compteur.

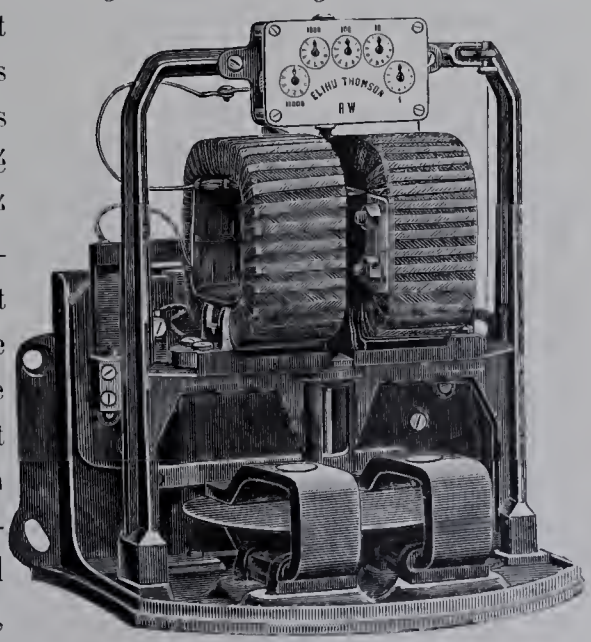


Fig. 2.

Nous avons dit plus haut que, dans ce genre de compteur, la principale cause d'erreur, surtout à faible charge, était due aux frottements; on a cherché à réduire au minimum cette cause d'erreur par une bonne construction mécanique : le bout inférieur de l'arbre repose dans une crapaudine munie d'une coupe en saphir poli; de plus, on s'arrange de manière que la vitesse soit toujours très faible, même à pleine charge; malgré cela, le frottement au départ fausserait les indications aux faibles charges, pour une seule lampe allumée, par exemple; on le compense approximativement en faisant, comme pour les dynamos, de l'excitation composée, c'est-à-dire en munissant les inducteurs d'un enroulement supplémentaire à fil fin en dérivation, comme l'induit, sur le réseau. Il en résulte évidemment un couple supplémentaire proportionnel au carré de la tension, et qu'on peut rendre égal au couple de frottement initial. Mais il est clair que le couple de frottement dépendant de la vitesse, et le couple supplémentaire n'en dépendant pas, la compensation n'aura pas lieu pour une vitesse quelconque; cela, d'ailleurs, n'a pas grande importance, la correction n'étant vraiment nécessaire que pour les faibles charges. L'introduction du compoundage dans les compteurs, parfaitement légitime en théorie, entr'ouvre cependant la porte à l'erreur que craignent le plus, et avec raison, les consommateurs, la marche du compteur à vide. En effet, si l'enroulement supplémentaire est calculé de manière à équilibrer exactement le frottement au départ lorsque le compteur est dans un repos complet, il surpassera facilement ce couple initial lorsque le compteur est soumis à des vibrations ou des trépidations comme peut en provoquer le passage des voitures dans les rues fréquentées; pour éviter toute difficulté de ce chef, on a soin d'abord de se tenir au-dessous d'une compensation complète, et ensuite de protéger le plus possible le compteur contre les vibrations extérieures par une suspension élastique appropriée.

L'influence de la température sur les compteurs est double : elle augmente la résistance de la bobine en dérivation, et, par suite, diminue le couple moteur; elle augmente la résistance du disque amortisseur, et par suite diminue le couple résistant : si ces deux systèmes sont formés d'un même métal, de cuivre par exemple, on peut espérer qu'il y ait compensation entre les deux actions : cette compensation était admise dans les anciens modèles des compteurs Thomson; elle n'est pas cependant tout à fait exacte, parce que la bobine à fil fin étant, par le fait même du passage du courant, à température plus élevée que la température ambiante, un même accroissement de température ne provoque pas la même variation *relative* de résistance de la bobine et de l'amortisseur. Dans les nouveaux modèles, le disque est en aluminium, ce qui présente de l'intérêt au point de vue de la légèreté, et la compensation relative à la température est obtenue par l'emploi des alliages aciers-nickel de M. Guillaume qui peuvent avoir, suivant leur composition, des coefficients de température quelconques[1].

[1] M. Saldana présentait un compteur dans lequel cette compensation relative à la température devait être obtenue par une combinaison convenable d'enroulements en série et en dérivation, formés de métaux à résistance peu variable ou très variable avec la température; mais le défaut de développement des calculs dans le brevet de M. Saldana ne permet pas de juger de la valeur de ce procédé.

Les nouveaux modèles de compteurs Thomson présentent également un certain nombre de perfectionnements de détail qui ont chacun leur importance :

1° Les balais ont été rendus mobiles autour de l'axe passant par leur centre de gravité (ou plutôt leur centre d'inertie), de façon à les rendre moins sensibles aux vibrations; le contact se fait par les bords de petits étriers très mobiles, de façon à avoir deux points de contact certains par balai ;

2° Les balais et le pivot inférieur de l'appareil, qui sont les seuls points d'entretien, peuvent être visités sans ouverture de l'appareil ;

3° La fermeture de la boîte est hermétique:

4° Le branchement, comme l'entretien, peut être fait sans ouverture de l'appareil: ceci a de l'importance au point de vue du poinçonnage possible par les municipalités[1].

Un des points qui préoccupent le plus les stations centrales est celui de la consommation à vide du compteur. Bien qu'il semble logique d'évaluer, pour cette consommation, l'énergie au prix de revient et non au prix de vente, la dépense correspondante pour un secteur à clientèle très divisée peut devenir importante.

Pour les compteurs Thomson, la consommation à vide, qui était autrefois de 12 à 14 watts, est tombée à 2 ou 3 watts, sans sacrifice sur le couple utile.

Voici les résultats que nous avons relevés sur un compteur du type 10 ampères, 100 à 110 volts :

Résistance du fil de dérivation		3605	ohms.
Consommation	sous 100 volts	2,77	watts.
	sous 110 volts	3,35	

Démarrage à 0,07 ampère sous 104 volts.

Le démarrage a donc lieu à moins de 1 p. 100 de la charge maxima, ce qui est largement suffisant dans la pratique.

Voici les résultats de l'étalonnement de ce compteur pris au hasard au milieu d'un grand nombre d'autres :

INDICATIONS DU COMPTEUR. $\frac{}{C}$	WATTS VRAIS. $\frac{}{W}$	$\frac{W}{C}$
52	53,1	1,022
64,4	65,8	1,022
89,1	89,4	1,002
107,5	105,3	0,98
224	217	0,968
511	499	0,976
788	771	0,98
980	957	0,977
1240	1207	0,975

Nous pouvons ajouter que nous avons occasion chaque année d'examiner un nombre très considérable de compteurs Thomson au Laboratoire central d'électricité, et que,

[1] Ce poinçonnage officiel existe dès maintenant en Autriche.

C. F. E.

pour la grande majorité, l'erreur se maintient dans les limites indiquées ci-dessus. Les principes de construction exposés plus haut peuvent s'appliquer à une échelle très étendue de puissances : c'est ainsi que la Compagnie pour la fabrication des compteurs exposait des types depuis 2 jusqu'à 10,000 ampères, à 2, 3 et 5 fils.

Emploi du compteur Thomson en courant alternatif. — Le compteur Thomson étant un véritable wattmètre peut s'employer tel quel pour les courants alternatifs, et comporte la même cause d'erreur que le wattmètre ordinaire, à savoir : le retard du courant dans la bobine à fil fin dû à la self induction de cette bobine. Soit ε le retard du courant sur la tension dans la bobine à fil fin, φ le retard analogue dans l'appareil d'utilisation : on sait que le facteur de correction du wattmètre (ou du compteur) est alors

$$\frac{1 + \operatorname{tg}^2 \varepsilon}{1 + \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varepsilon}.$$

De sorte que si l'on a, en courant continu,

$$P = kn,$$

P étant la puissance à mesurer, n le nombre de tours par seconde du compteur et k une constante, on a, en courant alternatif,

$$P = k \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \varepsilon}{1 + \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varepsilon} n$$

et, même pour des très petites valeurs de ε, l'erreur que l'on fait en omettant ce facteur de correction peut devenir notable pour les grandes valeurs du décalage φ [1].

En somme, cette erreur tient à deux causes distinctes : 1° la self-induction de la bobine à fil fin réduit le courant dans cette bobine (pour une même tension aux bornes) dans le rapport de cos ε à 1 ; 2° le retard du courant sur la tension dans cette même bobine réduit à $\varphi - \varepsilon$ le décalage entre le courant dans la bobine à gros fil et le courant dans la bobine à fil fin : le couple en est augmenté dans le rapport de cos $(\varphi - \varepsilon)$ à cos φ.

C'est cette dernière cause d'erreur que M. Frager a cherché à supprimer récemment dans les compteurs Thomson par l'artifice très ingénieux que voici. Au lieu de chercher à supprimer le décalage ε, on cherche à retarder aussi de ε le champ principal : l'angle du courant dans la bobine à fil fin (courant de tension) et du champ inducteur se trouve ainsi ramené à $\varphi - \varepsilon + \varepsilon = \varphi$, et la deuxième cause d'erreur disparaît.

Pour obtenir ce résultat, on place à l'intérieur de la bobine principale une seule spire d'un fil peu résistant fermé sur lui-même. Des courants sont induits dans cette spire et le champ résultant est à un facteur constant près la somme géométrique des ampèretours principaux et des ampèretours de la spire additionnelle.

[1] Si par exemple on a, comme dans les compteurs Thomson, $\operatorname{tg} \varepsilon = 0{,}05$, on trouve que l'on commet une erreur de 10 p. 100 pour un décalage de cos $\varphi = 0{,}4$ dans l'appareil d'utilisation.

D'après les lois fondamentales de l'induction, il est évident (fig. 3) : 1° que les ampèretours de la spire additionnelle sont perpendiculaires aux ampèretours résultants; 2° que ces mêmes ampèretours de la spire additionnelle sont en retard d'un angle ε' sur la force électromotrice induite dans cette spire par la bobine principale, c'est-à-dire d'un angle $\frac{\pi}{2}+\varepsilon'$ sur les ampèretours principaux, ε' étant donné par la formule

$$\operatorname{tg}\varepsilon' = \frac{L'\omega}{R'}$$

et $\frac{L'\omega}{R'}$ étant la constante de temps de la spire additionnelle.

De là il résulte que les ampèretours résultants sont en retard de ε' sur les ampèretours principaux; si l'on s'arrange de manière que $\varepsilon' = \varepsilon$ (il suffit pour cela que la constante de temps du circuit additionnel soit égale à celle du circuit à fil fin), le décalage entre le champ résultant et le courant de tension se retrouve bien égal à φ, comme il doit l'être, et la deuxième cause d'erreur signalée plus haut disparaît.

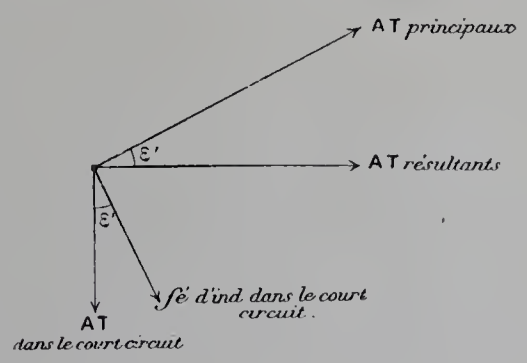


Fig. 3.

Il est vrai qu'on a introduit une erreur nouvelle, en ce sens que les ampèretours résultants sont aux ampèretours principaux dans le rapport $\cos\varepsilon$ à 1 ; comme, d'autre part, le courant de tension est aussi dans ce même rapport $\cos\varepsilon$ à 1 avec le courant qu'on observerait (pour une même tension) en courant continu, la constante du compteur se trouve divisée par $\cos^2\varepsilon$, c'est-à-dire multipliée par $1+\operatorname{tg}^2\varepsilon$; mais, et c'est là le point intéressant, cette correction qui subsiste est indépendante du décalage φ. Elle est d'ailleurs très petite, puisque, pour $\operatorname{tg}\varepsilon = 0{,}05$, on aurait $1+\operatorname{tg}^2\varepsilon = 1{,}0025$; la correction n'est donc que de $\frac{2{,}5}{1000}$, c'est-à-dire absolument négligeable dans la pratique.

M. Frager remarque que l'on pourrait obtenir une correction analogue en remplaçant la spire en court circuit par une résistance sans self-induction placée en dérivation sur les inducteurs; nous ne nous arrêterons pas à ces considérations.

Nous avons décrit avec quelques détails le compteur Thomson, parce qu'il représente le type principal auquel se rattachent les appareils qui vont suivre.

Compteur Lux. — Le compteur Lux, exposé par la *Société anonyme Luxsche Industrie Werke* (Allemagne), est fondé sur le même principe que le précédent; l'enroulement seul du circuit dérivé en diffère : c'est un circuit composé de trois bobines plates égales, dont les axes, perpendiculaires à l'axe de rotation, sont séparés par des angles de 120 degrés; l'une des extrémités de chacune de ces bobines aboutit à un même point neutre, et les trois extrémités libres aboutissent aux trois lamelles d'un collecteur sur lequel appuient deux balais; on reconnaît là les dispositions essentielles de l'induit de la machine Thomson-Houston qui a été si longtemps employée pour l'éclairage par arcs à intensité constante. Le principal avantage de ce système est de donner, pour

un même poids de cuivre immobilisé dans l'induit, un plus grand couple moteur, ou, ce qui revient au même, pour un même couple moteur, une plus grande légèreté de l'induit. Comparons, en effet, au point de vue du couple un induit en tambour et un induit ouvert à trois bobines composés avec le même poids du même fil.

Pour faire cette comparaison, nous supposerons que l'on règle la résistance en série de manière à avoir dans les deux cas le même courant I, c'est-à-dire, en somme, la même perte en watts dans le fil fin.

Soit C_1 le couple maximum qui s'exercerait sur une seule spire parcourue par un courant unité, n le nombre de conducteurs périphériques de l'induit supposé enroulé en tambour; on démontre aisément que le couple total est :

$$C = \frac{n}{\pi} C_1 \frac{I}{2}, \tag{1}$$

$\frac{I}{2}$ étant le courant qui traverse chaque fil de l'induit.

Employons maintenant ce même fil à constituer un induit ouvert à trois bobines; chaque bobine aura $\frac{n}{6}$ spires. A un instant quelconque (et en faisant abstraction des phénomènes de court circuit), deux de ces bobines sont parcourues par le courant total I, la troisième étant isolée. Chaque bobine a $\frac{n}{6}$ spires. Soit θ l'angle que fait avec le champ l'une des bobines actives; le couple a pour valeur :

$$\frac{nC_1 I\sqrt{3}}{12}\left(\sqrt{3}\cos\theta + \sin\theta\right),$$

et cette expression est valable depuis $\theta = 0$ jusqu'à $\theta = \frac{\pi}{3}$, après quoi une autre pairo de bobines prend la place de la première.

On voit que le couple part de la valeur

$$\frac{nC_1 I}{4} \tag{2}$$

pour $\theta = 0$; passe par un maximum

$$\frac{nC_1 I\sqrt{3}}{6} \tag{3}$$

pour $\theta = 30°$, et de nouveau prend la valeur initiale

$$\frac{nC_1 I}{4}$$

pour $\theta = 60°$.

La valeur moyenne du couple est :

$$\frac{3}{\pi} \cdot \frac{nC_1 I\sqrt{3}}{12} \int_0^{\frac{\pi}{3}} \left(\sqrt{3}\cos\theta + \sin\theta\right) d\theta,$$

ou, tout calcul fait,

$$\frac{nC_1 I\sqrt{3}}{2\pi}. \tag{4}$$

En comparant les expressions (2), (3) et (4), on trouve aisément :

$$\frac{\text{couple maximum}}{\text{couple moyen}} = 1,04$$

et

$$\frac{\text{couple minimum}}{\text{couple moyen}} = 0,91.$$

Le couple est donc suffisamment constant pour que l'inertie des pièces mobiles assure l'uniformité du mouvement.

En comparant d'autre part les expressions (4) et (1), on trouve :

$$\frac{\text{couple moyen de l'enroulement à trois bobines}}{\text{couple de l'enroulement en tambour}} = \sqrt{3} = 1,73.$$

Par conséquent, l'emploi de l'enroulement ouvert permet, à égalité de poids de cuivre, d'augmenter le couple dans le rapport de 1 à 1,7, ou, à égalité de couple, de diminuer le poids de cuivre dans le même rapport. On obtient ainsi des induits très légers qui permettent de diminuer beaucoup les frottements, et le collecteur lui-même n'ayant que trois lamelles peut être de très petit diamètre, ce qui réduit au minimum le frottement des balais. Tels sont les principes de construction du compteur Lux. Ce compteur était accompagné d'un excellent certificat d'étalonnement du laboratoire d'électricité de Munich.

Compteur Vulcain. — Le compteur Vulcain exposé par la *Compagnie anonyme continentale pour la fabrication des compteurs à gaz et autres appareils* (France) est un compteur Thomson présentant quelques modifications de détail; la principale est le changement de forme de l'amortisseur qui est formé par une surface cylindrique en cuivre tournant entre les pôles alternés d'une couronne d'aimants; le couple d'amortissement dépend, en effet, de la vitesse *linéaire* et non de la vitesse *angulaire* de l'amortisseur, et il s'ensuit qu'une surface cylindrique, où la vitesse linéaire est partout la même, utilise mieux la matière qu'un disque dont les parties centrales sont presque inactives. La couronne d'aimants dont nous avons parlé peut se régler en hauteur à l'aide d'une vis unique et, une fois le réglage obtenu, l'équipage est bloqué dans cette position par une vis spéciale qui le fixe définitivement.

Nous signalerons également, comme perfectionnement de détail, la suspension à ressort des crapaudines qui portent les saphirs sur lesquels l'arbre est mobile et les dispositions prises pour assurer le transport de l'appareil sans crainte d'endommager les pierres ou les pointes de l'arbre.

L'appareil se prête à un poinçonnage officiel : un premier plomb, placé par le bureau d'étalonnage, protège la vis de réglage de la couronne d'aimants; un second plomb, placé par le secteur, protège la vis qui sert à immobiliser l'équipage pendant le transport; ces deux plombs sont tout à fait indépendants l'un de l'autre.

Voici les résultats que nous avons trouvés sur deux compteurs Vulcain pris au hasard :

Compteur n° 14,777. — 1,000 watts. — 110 volts. — [Temp. : 21° 5].
Résistance du fil de dérivation, 4965 ohms.

Consommation sous 100 volts..... 2,01 watts.
Consommation sous 110 volts..... 2,43

Démarrage à 0,045 ampère sous 110 volts.

INDICATIONS DU COMPTEUR. — C	WATTS VRAIS. — W.	$\frac{W}{C}$.
49,2	52,7	1,07
90	93,8	1,04
241	244	1,01
540	541	1,002
800	800	1
1093	1084	0,99

Compteur n° 14,780. — 2,500 watts. — 110 volts. — [Temp. : 21° 5].
Résistance du fil de dérivation, 4,951 ohms. — Démarrage à 0,152 ampères sous 110 volts.

INDICATIONS DU COMPTEUR. — C.	WATTS VRAIS. — W.	$\frac{W}{C}$.
44,5	52,7	1,18
83,9	93,8	1,12
233	244	1,047
518	541	1,043
771	800	1,038
1052	1084	1,03
1597	1632	1,022
2610	2651	1,015

Compteur Schuckert. — Ce compteur exposé par l'*Elektricitäts Aktiengesellschaft vormals Schuckert und C°* (Allemagne) se rapproche beaucoup du compteur Thomson normal. Nous signalerons seulement comme détail de construction la possibilité de régler la position de la bobine à fil fin du compoundage de manière à compenser aussi exactement que possible les résistances de frottement. Nous donnons ci-dessous les résultats des essais que nous avons exécutés sur ces compteurs :

Compteur Schuckert n° 51,524. — 150 ampères. — 220 volts.
Résistance du fil de dérivation, 8035 ohms. — Consommation sous 220 volts, 6 watts.

INDICATION DU COMPTEUR. — C.	WATTS VRAIS. — W.	$\frac{W}{C}$.
461,5	511	1,10
652	691,5	1,06
817,5	835	1,005
1620	1630	1,02
3295	3290	//
5850	5870	//
11800	11780	//
20700	20750	//
33200	33100	//

Les essais qui précèdent ont été faits sur un modèle exclusivement réservé au courant continu. Un autre modèle tout à fait analogue au précédent, mais dans lequel la constante de temps du circuit à fil fin a été aussi réduite que possible, peut servir indifféremment sur courant continu et sur courant alternatif. Voici les résultats que nous avons obtenus sur une charge non inductive :

Compteur Schuckert n° 61,501. — 10 ampères. — 110-120 volts.
Résistance du fil de dérivation, 3609 ohms. — Consommation sous 110 volts, 4 watts.
Démarrage à 0,09 ampères sous 110 volts.

INDICATIONS DU COMPTEUR. — C.	WATTS VRAIS. — W.	$\frac{W}{C}$.
223	220	0,987
294	291	0,99
428	430	1,005
676	680	1,006
920	920	1
1040	1040	1

Les résultats sont un peu moins satisfaisants sur des charges fortement inductives, comme l'indique le tableau suivant :

cos φ. —	C. —	W. —	$\frac{W}{C}$. —
0,07	47,6	39,6	0,832
0,37	221	207	0,936
0,49	293	281	0,96
0,72	433	427	0,99

Compteur Perdrisat. — Le compteur exposé par la *Société Perdrisat, Blanc et Cie* (Suisse) diffère des précédents d'abord parce qu'il contient du fer dans son induit et ensuite par la forme de cet induit qui est assez originale : il est composé de quatre bobines ayant la forme de demi-cercle, et disposées de la façon suivante (fig. 4) : traçons deux axes rectangulaires, et deux circonférences concentriques ayant pour centre commun leur point de rencontre : soient A, B, C, D les points où la première circonférence coupe les axes; A′ B′ C′ D′, les points correspondants pour la deuxième; les diamètres des bobines en demi-cercle sont placés respectivement sur A′C, B′D, C′A, D′B de manière à figurer une sorte de spirale; ces bobines sont d'ailleurs réunies entre elles et à un collecteur à la manière des sections successives de l'anneau Gramme. Il est facile de voir qu'il en résulte un couple de rotation à peu près constant. La construction des bobines est très simple : sur une

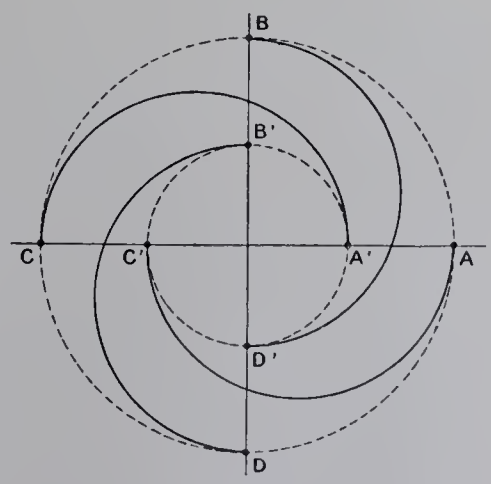


Fig. 4.

IMPRIMERIE NATIONALE.

lame flexible de fer doux présentant à ses extrémités deux œillets, on fait à la machine un enroulement, puis la lame est cintrée en demi-cercle et passée sur l'une des branches du croisillon où elle est maintenue en place par une simple vis.

D'après les données du constructeur, ce compteur démarre au centième de sa capacité et absorbe à vide 4,5 watts, l'induit ayant une résistance de 1000 ohms.

L'appareil est rustique, léger et d'une construction très simple; un compteur de 110 volts, 50 ampères pèse 6 kilogrammes. On peut lui adresser la critique générale de tous les compteurs qui contiennent du fer dans l'induit : défaut de proportionnalité aux variations trop grandes de tension; décalage plus notable (avec les erreurs qui s'ensuivent) dans les courants alternatifs.

Compteur Peloux. — Le compteur Peloux, exposé par la même Société et dont, d'autre part, la société Siemens et Halske est concessionnaire, est encore fondé sur le principe général des compteurs moteurs; mais il est caractérisé par ce fait, que toutes les bobines sont fixes et que la partie tournante est constituée uniquement par une armature en fer. Les bobines parcourues par le courant principal ont à peu près la même forme que dans les compteurs précédents, mais les bobines de dérivation, au nombre de quatre, sont superposées et leur axe est vertical; suivant cet axe passe un noyau de fer doux qui porte quatre bras à angle droit l'un de l'autre, mais à des niveaux différents; ce noyau, avec ses prolongements polaires, est mobile et, dans son mouvement de rotation, entraîne la minuterie du compteur. Un collecteur à quatre lamelles, qui distribue successivement le courant aux quatre bobines indiquées plus haut, change la polarité des pièces polaires chaque fois que ces pièces polaires se trouvent à 45 degrés de l'axe des bobines principales, de telle sorte qu'il en résulte un mouvement de rotation continue à couple sensiblement constant et proportionnel, comme toujours, à la puissance à mesurer. Un amortisseur ordinaire complète l'appareil.

b. **Compteurs fondés sur le principe de Ferraris.** — Ces compteurs-moteurs, exclusivement réservés aux courants alternatifs, constituent la plus grande nouveauté (en ce qui concerne les compteurs) de l'Exposition de 1900 : on sait, en effet, qu'en 1889 le principe des champs tournants n'avait encore reçu aucune application; et l'on peut dire que le développement de ce principe constitue toute l'histoire de l'Électrotechnique dans les onze années qui ont séparé les deux Expositions.

Nous donnerons d'abord la théorie générale de ces compteurs, ce qui nous permettra ensuite de n'insister que sur les points particuliers de chacun d'eux.

Imaginons qu'un conducteur métallique massif de révolution, un cylindre par exemple, mobile autour de son axe, soit soumis à l'action de deux champs magnétiques alternatifs, rectangulaires entre eux, et présentent une certaine différence de phase φ; soient F et f la valeur maxima des deux champs.

Chacun de ces deux champs alternatifs peut, comme on le sait, être décomposé en deux champs tournant en sens inverse; ce qui fait en tout quatre champs tournants, deux, A et B, tournant dans un sens, et deux, A′ et B′, tournant dans l'autre.

Nous pouvons maintenant composer A et B en un seul champ tournant H, et de même A′ et B′ en un seul champ tournant en sens inverse H′; on trouve aisément :

$$H^2 = F^2 + f^2 + 2\,Ff \sin\varphi$$
$$H'^2 = F^2 + f^2 - 2\,Ff \sin\varphi.$$

La masse métallique, abandonnée à elle-même, va être entraînée dans le sens du plus grand de ces deux champs, H par exemple; soient ω' sa vitesse de rotation, ω la pulsation du courant; le cylindre prend alors une vitesse relative $\omega - \omega'$ par rapport au champ H, et $\omega + \omega'$ par rapport au champ H′.

A mesure que ω' augmente, la vitesse relative du cylindre et du premier champ diminue, la vitesse relative du cylindre et du second champ augmente; il en résulte que le couple moteur diminue et que le couple résistant augmente. Il y aura, pour une certaine vitesse ω', équilibre entre ces couples, et cette vitesse ω' se maintiendra alors constante.

Admettons que le couple (moteur ou résistant) soit proportionnel d'une part au carré du champ tournant, de l'autre à la vitesse relative du champ et du cylindre [1]. Nous aurons alors :

$$C_m = kH^2(\omega - \omega')$$
$$C_r = kH'^2(\omega + \omega').$$

D'où :

$$kH^2(\omega - \omega') = kH'^2(\omega + \omega');$$

ou

$$\omega' = \frac{\omega(H^2 - H'^2)}{H^2 + H'^2};$$

ou

$$\omega' = \omega\frac{2\,Ff\sin\varphi}{F^2 + f^2}.$$

Ainsi, dans ce cas, même en dehors de tout amortissement étranger, le cylindre prend une vitesse bien définie donnée par l'équation précédente.

Cette équation peut s'interpréter de la façon suivante :

Tout se passe comme si le cylindre était soumis à un couple moteur

$$2\,\omega Ff \sin\varphi$$

et à un couple résistant

$$(F^2 + f^2)\,\omega'$$

proportionnel à la vitesse (à condition que $F^2 + f^2$ soit constant). Ce dernier couple

[1] En faisant cette hypothèse, nous supposons implicitement que, dans les circuits particulaires où se développent les courants de Foucault, la réactance est négligeable par rapport à la résistance.

est exactement de l'espèce de ceux que nous avons appelés plus d'une fois couple amortisseur.

Ainsi le système de deux champs rectangulaires alternatifs et présentant une différence de phase φ donne naissance à la fois à un couple moteur et à un couple amortisseur.

Appelons ψ le décalage du courant sur la tension aux bornes des appareils d'utilisation auxquels est appliqué le compteur : si on s'arrange de manière que l'angle que nous avons appelé φ soit égal à $\frac{\pi}{2}+\psi$, l'expression du couple moteur devient

$$2\,\omega\,Ff\cos\psi.$$

Si, de plus, le champ F est proportionnel au courant principal I et le champ f proportionnel à la tension e aux bornes de l'appareil d'utilisation, le couple moteur prend la forme

$$2\,C\,\omega\,eI\cos\psi,$$

c'est-à-dire qu'il est proportionnel à la puissance à mesurer $eI\cos\psi$.

Nous avons vu que dans ces conditions, pour que le compteur enregistre l'énergie dépensée, il fallait que le couple résistant fût proportionnel à la vitesse : or, ici, le couple résistant est

$$(F^2+f^2)\,\omega';$$

f est à peu près constant dans le cas d'une distribution à potentiel constant, mais F varie avec la charge, puisqu'il est proportionnel au courant principal; aux faibles charges, F étant négligeable par rapport à f, l'amortissement est à peu près proportionnel à la vitesse et le compteur est à peu près exact; mais à mesure que la charge augmente, le terme F^2 prend de l'importance, et le compteur retarde de plus en plus.

Le meilleur moyen et le plus simple pour éviter cet inconvénient consiste à munir le compteur d'un amortissement ordinaire $K\omega'$ par un aimant permanent assez grand pour que l'on puisse négliger devant cet amortissement le terme $(F^2+f^2)\,\omega'$: on aura alors simplement

$$\omega'=\omega\,\frac{2\,Ff\sin\varphi}{K}$$

et la vitesse ω' sera rigoureusement proportionnelle à la puissance à mesurer.

Cet amortissement supplémentaire pourra s'exercer soit sur le conducteur tournant lui-même, soit sur un disque métallique monté sur le même arbre, comme dans les compteurs-moteurs à bobines.

Dans quelques systèmes, on ne se contente pas de cet artifice, et, pour compenser l'existence d'un terme d'amortissement croissant avec la charge, on cherche à augmenter le couple moteur (proportionnel à la puissance) d'un terme supplémentaire croissant lui aussi avec la charge; ce sont là, en général, des moyens empiriques dont il est difficile de donner une théorie satisfaisante.

Le frottement au départ devra également être compensé comme dans tous les compteurs-moteurs par un couple supplémentaire convenable.

L'expression de la vitesse ω' montre que celle-ci, toutes choses égales d'ailleurs, dépend de ω, c'est-à-dire de la pulsation (ou de la fréquence) du courant donné. L'étalonnement du compteur dépendra donc de cette fréquence; il en résulte également qu'il devra dépendre jusqu'à un certain point de la forme du courant : ce sera à l'expérience de montrer dans quelles limites s'exerce cette influence.

Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que les deux champs rectangulaires agissaient sur un conducteur de révolution ayant son axe perpendiculaire à chacun d'eux. Dans un grand nombre de cas, au contraire, on emploie deux champs parallèles entre eux et perpendiculaires à un même disque dont l'axe est parallèle aussi à ces champs : dans ce cas, le couple moteur provient de l'action exercée par l'un des deux champs sur les courants induits dans le disque par l'autre; il est facile de se rendre compte que son expression doit être de la même forme que la précédente.

Nous passerons maintenant à la description des principaux appareils appartenant à cette catégorie.

Compteur Blathy. — Ce compteur, exposé par la *Société Ganz et Cie* (Hongrie), est un des représentants les plus anciens et les plus connus des appareils fondés sur le principe de Ferraris. Les deux champs F et f sont tous deux normaux à un même disque métallique qui est soumis également à l'action amortissante d'un aimant permanent. La théorie ne diffère pas essentiellement de celle des compteurs à véritable champ tournant. Le décalage de $\frac{\pi}{2}$ entre le champ f et le champ F est obtenu seulement grâce à la réaction de la bobine à fil fin : c'est dire que le réglage n'est qu'approximatif. Le couple supplémentaire nécessaire pour vaincre le frottement au départ est obtenu au moyen de deux petits écrans métalliques disposés d'une façon dissymétrique sur les pôles de l'électro-aimant en dérivation.

Compteur Hummel. — Ce compteur, exposé par l'*Allgemeine Elektricitätsgesellschaft* (Allemagne), a pour organe mobile un cylindre creux de cuivre concentrique à un cylindre plein de fer formant armature. L'inducteur qui produit le champ tournant est un anneau de fer également concentrique aux cylindres précédents et portant à son intérieur quatre pôles à angle droit. Ces pôles sont munis chacun de pièces polaires dissymétriques et toutes dirigées dans le même sens de rotation. Les enroulements ont une grande ressemblance avec ceux des machines modernes polyphasées. Soient : A, B, C, D les quatre pôles, A opposé à C, B à D. L'enroulement à fil fin forme deux bobines qui entourent l'une les pôles A et B, l'autre les pôles C et D, en restant comprises tout entières à l'intérieur de l'anneau inducteur; l'enroulement à gros fil est formé d'une seule bobine, semblable aux précédentes, mais entourant les pôles B et C. Lorsque ces deux systèmes de bobines sont parcourus par des courants décalés de $\frac{\pi}{2}$ l'un par rapport à l'autre, il prend naissance un champ tournant qui entraîne le cylindre creux de cuivre. L'amortissement est produit à la manière ordinaire par un

disque métallique monté sur le même axe que le cylindre de cuivre et tournant entre les pôles d'aimants permanents.

La dissymétrie des pièces polaires entraîne l'existence d'un couple, même lorsque le fil fin seul est parcouru par le courant de dérivation (probablement par suite d'effets de répulsion analogues aux effets d'Elihu Thomson). On règle cette action propre des bobines à fil fin de manière à compenser sensiblement les frottements au départ; et, pour empêcher le compteur de tourner à vide, on munit le disque amortisseur d'un petit fragment de fer qui suffit à arrêter l'appareil dans une position d'équilibre stable et l'empêche de tourner à vide, même sous l'influence de vibrations notables, tout en lui permettant de démarrer dès qu'un courant passe dans le gros fil.

Un artifice particulier est employé en vue d'obtenir un décalage de $\frac{\pi}{2}$ exactement dans la bobine à fil fin. Le circuit à fil fin comprend (fig. 5) : 1° une bobine de résistance réglable R_1; 2° à la suite de cette bobine, et en dérivation l'une sur l'autre, la bobine

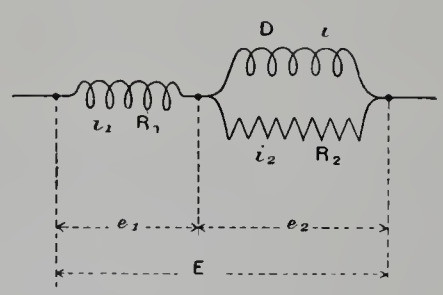


Fig. 5.

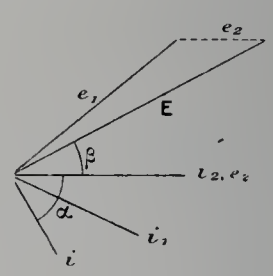


Fig. 6.

à fil fin du compteur D, et une résistance non inductive R_2 également réglable. Le courant dans la bobine D (fig. 6) est en retard sur la différence de potentiel aux bornes d'un angle $\alpha < \frac{\pi}{2}$; mais cette différence de potentiel est elle-même en retard sur la différence de potentiel totale d'un angle $\beta < \frac{\pi}{2}$; on peut, par un réglage convenable de R_1 et de R_2 s'arranger de manière que $\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$.

D'après les constructeurs, la consommation à vide du compteur Hummel ne dépasse pas un watt, et il peut supporter momentanément une surcharge de 100 p. 100, ce qui est précieux pour la mise en marche des moteurs.

Compteur Hélios. — Ce compteur, exposé par *Helios Elektricitäts-Aktiengesellschaft* (Allemagne), repose sur les mêmes principes que les précédents; il présente quelques particularités intéressantes :

1° Comme dans le compteur Blathy, les pôles de l'électro-aimant en dérivation sont recouverts en partie d'écrans métalliques dissymétriques; pour éviter que ces écrans ne provoquent la marche à vide du compteur, l'amortisseur est percé de trous qui entraînent l'existence de positions d'équilibre stable pour ce compteur; ces positions sont telles, que les points de moindre résistance viennent se placer en regard du champ alternatif des bobines à fil fin. Cette disposition, d'ailleurs, n'empêche pas le compteur de démarrer dès qu'un courant traverse les bobines à gros fils;

2° Nous avons vu plus haut que le compteur avait une tendance à retarder à cause

de l'influence amortissante de la bobine série qui croît avec l'intensité du courant; on cherche à compenser cette erreur par la création d'un couple moteur croissant aussi avec cette intensité et produit par la bobine série à elle seule; pour cela, les pôles de cette bobine sont munis de masses métalliques dissymétriques à peu près analogues à celles que nous avons rencontrées sur les bobines à fil fin dans le compteur Blathy et dans le compteur Hélios lui-même; mais on voit que le rôle de ces masses métalliques est ici tout particulier et destiné à compenser non le couple de frottement, mais le couple amortisseur de la bobine série.

Nous ne notons rien de particulier pour la production du décalage de $\frac{\pi}{2}$.

Compteur Raab. — Ce compteur, exposé par l'*Elektricitäts-Aktiengesellschaft, vormals Schuckert* (Allemagne), appartient au même type que le compteur Blathy : le champ principal, le champ dérivé et le champ amortisseur des aimants permanents sont tous normaux à un même disque métallique qui sert à la fois de moteur et d'amortisseur.

Le point particulier se trouve dans les dispositions adoptées pour obtenir exactement un décalage de $\frac{\pi}{2}$ entre les deux champs. Le système dérivé comprend deux électro-aimants dont les effets s'ajoutent géométriquement : le premier est, comme à l'ordinaire, en dérivation simple sur la tension; il donne un champ (fig. 7) fortement décalé sur cette tension, mais dont le décalage n'atteint pas $\frac{\pi}{2}$; le second est monté en série avec une résistance non inductive, et le tout est aussi en dérivation sur la tension aux bornes; de plus, le champ de cet électro-aimant est inversé par rapport au premier; le décalage de ce champ est plus faible que celui du premier, de sorte qu'on peut le régler de manière que le champ résultant soit exactement en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur la tension.

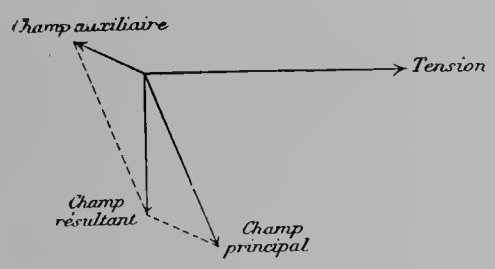


Fig. 7.

Voici les résultats que nous avons obtenus [1] sur un de ces compteurs :

Compteur Raab à courants alternatifs simples n° 36.657. — 110-120 volts. — 10 ampères.
Consommation à vide, 2,5 watts sous 115 volts.

ESSAIS SUR RÉSISTANCES NON INDUCTIVES.

C.	W.	$\frac{W}{C}$.
208	211	1,014
388	391	1,003
538	538	1,000
669	666	0,996
821	818	0,996
888	890	1,002
1035	1035	1,000

[1] Laboratoire central d'électricité.

En ce qui concerne les essais sur résistances inductives, la manière la plus instructive de les exécuter consiste à opérer à intensité sensiblement constante et à décalage variable. On y arrive aisément à l'aide d'un rhéostat spécial à *impédance constante* composé d'une bobine de résistance et d'un rhéostat ordinaire réglables séparément. Voici les résultats relatifs à deux régimes 6,4 et 8,45 ampères environ :

ESSAIS SUR RÉSISTANCES INDUCTIVES.

INTENSITÉ.	cos φ.	C.	W.	$\frac{W}{C}$.
6,22	0,83	633	630	0,995
6,4	0,74	585	581	0,993
6,44	0,6	472	464	0,983
8,46	0,91	924	925	1,001
8,46	0,76	766	758	0,990
8,42	0,41	414	401	0,969

Compteurs Hartmann et Braun (Allemagne). — Ce compteur, comme les précédents, repose sur le principe de Ferraris : le mobile moteur est un cylindre d'aluminium; l'amortisseur, un disque de même métal. L'amortissement dû à ce disque est suffisamment grand pour rendre négligeables les termes amortisseurs provenant des bobines à courant alternatif. Le point le plus original consiste dans la manière d'obtenir un décalage de $\frac{\pi}{2}$ exactement entre le champ dans l'entrefer de l'électro-aimant en dérivation et la tension aux bornes. Entre ces deux bornes se trouvent montés en série (fig. 8) : 1° le primaire d'un petit transformateur auxiliaire; 2° l'enroulement à fil fin de l'électro en dérivation. Le secondaire du transformateur auxiliaire est fermé : 1° sur une résistance réglable non inductive R; 2° sur un second enroulement porté par l'électro en dérivation. L'étude complète du diagramme montre que l'on peut, en réglant la résistance R, obtenir un décalage exactement égal à $\frac{\pi}{2}$ entre le champ dans l'entrefer de l'électro en dérivation et la tension aux bornes.

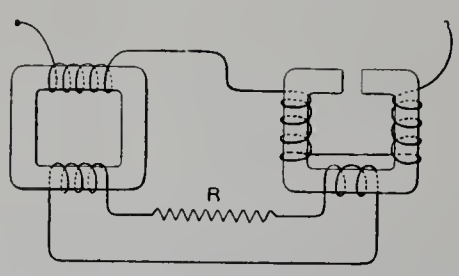


Fig. 8.

Compteur Siemens. — Ce compteur, exposé par la *maison Siemens*, est fondé, comme les précédents, sur le principe de Ferraris : deux systèmes de bobines à angle droit agissent sur un cylindre d'aluminium; l'amortisseur forme un système distinct.

Compteur Batault. — Ce compteur, exposé par la *Société génevoise pour la construction d'instruments de physique* (Suisse), dérive immédiatement du compteur Blathy; il en diffère cependant par quelques détails intéressants : l'électro en dérivation comporte deux noyaux, et l'enroulement série n'est appliqué qu'à l'un de ces noyaux; un diagramme simple montre que cette disposition est absolument équivalente à celle où les deux enroulements agissent sur des noyaux distincts. Mais le point le plus original consiste

dans un enroulement en court-circuit, formé généralement d'une seule spire et enveloppant à la fois les pôles des deux noyaux.

En faisant le diagramme de fonctionnement, on voit assez facilement que, par un réglage convenable de la résistance de cette spire, on peut amener à $\frac{\pi}{2}$ exactement le décalage entre le champ et le courant principal.

c. **Compteurs moteurs triphasés.** — Le principe de la méthode bien connue des deux wattmètres s'applique immédiatement aux compteurs moteurs à bobines, comme le compteur Thomson. Ou bien l'on emploie deux compteurs séparés dont on ajoute les indications, les bobines à gros fil étant parcourues par deux des trois courants du système, et les bobines à fil fin étant montées respectivement entre le troisième fil et chacun des deux premiers.

L'emploi de deux compteurs étant peu commode, il est facile de réunir les deux appareils en un seul, les deux induits étant montés sur le même axe; les couples moteurs s'ajoutent alors (éventuellement se retranchent dans le cas de très forts décalages), et le compteur donne par une seule lecture l'énergie à mesurer. La *Compagnie pour la fabrication des compteurs* (France) exposait un compteur triphasé de trois ampères fondé sur ce principe; la *Compagnie anonyme continentale* (France) exposait également un compteur Vulcain du même genre.

La nécessité de caler deux induits sur le même arbre entraîne, dans ce système, à des dimensions et à des poids assez considérables. On a cherché, pour éviter cette difficulté, à appliquer au même problème le principe de Ferraris.

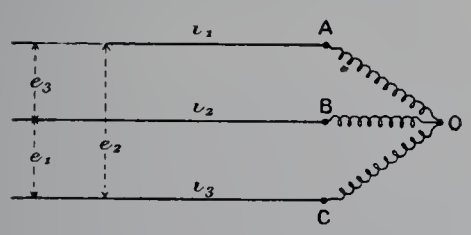


Fig. 9.

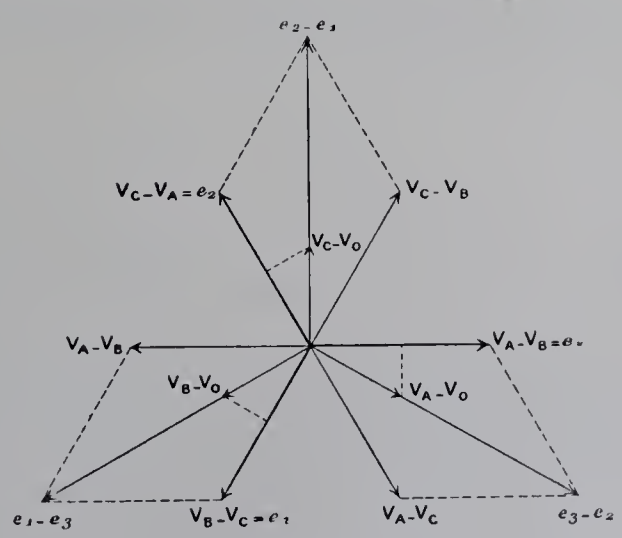


Fig. 10.

Nous citerons, comme fort intéressants à ce point de vue, les compteurs, modèle FU, exposés par l'*Elektricitäts Acktiengesellschaft, vormals Schuckert* (Allemagne). Ces compteurs sont également construits en France par la *Compagnie générale d'électricité de Creil.*

Considérons un système triphasé à trois fils (sans fil neutre), soit i_1, i_2, i_3 (fig. 9 et 10),

les trois courants aboutissant aux trois bornes A, B, C de l'appareil d'utilisation; appelons V_A, V_B, V_C, les potentiels de ces trois bornes, et posons :

$$e_1 = V_B - V_C$$
$$e_2 = V_C - V_A$$
$$e_3 = V_A - V_B.$$

On sait que la puissance instantanée consommée dans le récepteur triphasé peut se mettre sous l'une des trois formes :

$$\text{(I)} \begin{cases} P = e_1 i_2 - e_2 i_1 & (1) \\ P = e_2 i_3 - e_3 i_2 & (2) \\ P = e_3 i_1 - e_1 i_3. & (3) \end{cases}$$

En ajoutant deux à deux ces équations membre à membre, nous en déduisons le système suivant :

$$\text{(II)} \begin{cases} 2P = i_1 (e_3 - e_2) + e_1 (i_2 - i_3) & (4) \\ 2P = i_2 (e_1 - e_3) + e_2 (i_3 - i_1) & (5) \\ 2P = i_3 (e_2 - e_1) + e_3 (i_1 - i_2). & (6) \end{cases}$$

Enfin, en ajoutant membre à membre respectivement les équations (2) et (4), (3) et (5), (1) et (6), on trouve :

$$\text{(III)} \begin{cases} 3P = (i_1 - i_3)(e_3 - e_2) + (i_2 - i_1)(e_1 - e_3) & (7) \\ 3P = (i_2 - i_1)(e_1 - e_3) + (i_3 - i_1)(e_2 - e_1) & (8) \\ 3P = (i_3 - i_2)(e_2 - e_1) + (i_1 - i_2)(e_1 - e_2). & (9) \end{cases}$$

Les trois groupes précédents d'équations peuvent se prêter à la construction des compteurs triphasés : on voit que, dans tous les cas, l'expression de la puissance comprend deux termes qui s'ajoutent algébriquement ; le compteur devra donc se composer de de deux mobiles (deux disques d'aluminium), montés sur le même axe, sur lesquels s'exerceront des couples proportionnels aux deux termes précédents.

Chaque terme se compose lui-même de deux facteurs, dont l'un est une intensité (ou une différence d'intensité) et l'autre une tension (ou une différence de tension). On sait que pour appliquer le principe de Ferraris à ce cas, il faut faire passer dans une bobine (ou dans deux bobines différentielles) le courant principal (ou les différences des deux courants principaux), de manière à produire un champ en phase avec ce courant (ou cette différence de courants), et, d'autre part, faire agir simultanément sur le même

disque un autre champ en quadrature avec la tension (ou la différence de tension) qui figure dans les équations précédentes. Ces deux champs (champ de courant et champ de tension) seront tous les deux normaux au disque métallique. Nous venons de voir comment l'on produisait le premier; il existe un très grand nombre de moyens très variés pour produire le second : nous en examinerons quelques-uns. Remarquons tout de suite que la très grande facilité que donnent les courants triphasés pour la solution du problème provient de ce que l'on trouve très facilement et sans aucun artifice, dans un système triphasé, des tensions déjà décalées sur celles que l'on veut employer; on pourra donc obtenir le décalage requis de $\frac{\pi}{2}$ au moyen de décalages artificiels plus petits que $\frac{\pi}{2}$ et par suite très faciles à réaliser; tandis que, dans le cas des courants alternatifs simples, il faut produire de toute pièce, au moyen d'artifices plus ou moins compliqués, le décalage de $\frac{\pi}{2}$ que ne peuvent jamais réaliser exactement de simples bobines à réaction.

I. Application des équations du groupe I. — Nous avons appelé $e_1\, e_2\, e_3$ les trois tensions entre bornes du système triphasé; appelons maintenant O le point neutre (réel ou artificiel du système), et posons :

$$a = V_A - V_O$$
$$b = V_B - V_O$$
$$c = V_C - V_O.$$

On sait que a est en retard de $\frac{\pi}{6}$ sur e_3, et par conséquent en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur e_1; de même b est en retard de $\frac{\pi}{6}$ sur e_1 et en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur e_2; enfin c est en retard de $\frac{\pi}{6}$ sur e_2 et en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur e_3.

Cela posé, reprenons l'expression

$$P = e_1\, i_2 - e_2\, i_1.$$

Nous avons au moins trois procédés pour obtenir un champ décalé de $\frac{\pi}{2}$ sur e_1 (il en serait évidemment de même pour e_2) :

1° Nous pouvons, au moyen d'une bobine de réaction convenable, produire un champ décalé de $\frac{\pi}{6}$ sur e_3; cette bobine, bien entendu, quoique représentant le terme e_1 ou $V_B - V_C$, devra être branchée alors entre les points A et B. Cette solution est indiquée par Hummel (D. R. P. n° 101869).

2° Nous pouvons, au moyen d'un point neutre artificiel et d'un circuit sans réactance, produire un champ en phase avec a ou $V_A - V_O$. Cette bobine sans réactance devra alors être disposée entre le point A et le point O (Siemens et Halske, D. R. P. n° 99634).

3° Nous pouvons enfin, au moyen d'une bobine de réactance convenable, produire un champ décalé de $\frac{\pi}{3}$ sur $-b$ ou $V_O - V_B$; dans ce cas, la bobine de réactance devra être

branchée entre les points O et B [1]. Telle est la solution qui a été adoptée par la maison Schuckert (D. R. P. n° 108354).

II. Application des équations du groupe II. — Considérons l'équation :

$$(4) \qquad 2\,P = i_1(e_3 - e_2) + e_1(i_2 - i_3).$$

Il est facile d'observer que les deux tensions e_1 et $e_3 - e_2$ sont en quadrature, et que la deuxième vaut 1,732 fois la première. Nous devons donc ici produire, au moyen des bobines en dérivation, deux champs en quadrature respective avec les tensions précédentes. Un grand nombre de solutions sont possibles. Voici celle à laquelle s'est arrêté M. Möllinger.

Proposons-nous de créer un point neutre artificiel non symétrique O′ de telle sorte que les tensions $V_A - V_{O'}$ et $V_B - V_{O'}$ soient égales et rectangulaires entre elles.

Il est facile de voir que dans ces conditions on aura :

$$(V_A - V_{O'})_{eff} = (V_B - V_{O'})_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}}(e)_{eff} = 0{,}707\ e_{eff},$$

e_{eff} étant la tension donnée aux bornes du système triphasé. La troisième bobine de l'étoile OB artificielle devra être calculée de manière que

$$(V_C - V_{O'})_{eff} = \frac{\sqrt{3-1}}{2}\, e_{eff} = 0{,}366\ e_{eff}.$$

Si alors on porte ces nouvelles tensions sur le diagramme général du système triphasé, on trouve que $V_A - V_{O'}$ est en retard de 15° sur $e_3 - e_2$ et que $V_B - V_{O'}$ est en retard de 15° sur e_1.

Si donc nous choisissons la réactance des bobines [2] de telle sorte que les champs qu'elles produisent dans leur entrefer soient en retard de 75 degrés sur la tension aux bornes, ces champs seront respectivement en quadrature avec $e_3 - e_2$ et avec e_1, et pourront, par conséquent, être utilisés pour la réalisation physique de l'équation (4).

Les champs de ces deux bobines sont égaux, alors que, pour satisfaire à l'équation (4), celui qui agit sur le courant i_1 devrait être $\sqrt{3} = 1{,}732$ fois plus intense que celui qui agit sur la différence des courants i_2 et i_3. Il est facile de compenser cette inexactitude en donnant à la bobine série dans laquelle passe le courant i_1, 1,732 fois plus de spires qu'aux bobines série différentielles dans lesquelles passent les courants i_2 et i_3.

[1] Il est à remarquer que, dans toutes les méthodes fondées sur l'emploi d'un point neutre artificiel, les trois branches de l'étoile artificielle doivent avoir la même résistance et la même réactance; ce que l'on réalise ici en les formant de trois bobines enroulées sur des circuits magnétiques semblables, même si ces bobines ne doivent pas agir sur le mobile du compteur.

[2] Cette réactance étant choisie, celle de la bobine O′C s'en déduit.

III. Application des équations du groupe III. — Reprenons l'équation (7) :

$$3\,P = (i_1 - i_3)(e_3 - e_2) + (i_2 - i_3)(e_1 - e_3).$$

Il est très facile de nous procurer des champs en quadrature respectivement avec $e_3 - e_2$ et avec $e_1 - e_2$: il suffit, en effet, d'alimenter la première bobine par la tension e_2, en ayant soin que le champ dans l'entrefer de cette bobine soit en retard de 60 degrés sur la tension aux bornes, et d'alimenter, dans les mêmes conditions, la deuxième bobine au moyen de la tension e_3.

Cette dernière disposition a l'avantage, sur les montages I et II, de supprimer l'emploi d'une bobine de réaction.

Si l'on compare les trois systèmes au point de vue de la dépense d'énergie dans le fil fin, on trouve que cette dépense d'énergie est dans le rapport

$$1 : 0{,}557 : 0667.$$

Les deux derniers montages sont donc nettement supérieurs au premier; ce sont eux qu'emploient de préférence l'*Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft, vormals Schuckert* et la *Compagnie générale d'électricité de Creil.*

Cas particulier de phases également chargées. — Reprenons les équations du groupe I et ajoutons-les membre à membre, il vient :

$$3\,P = i_1(e_3 - e_2) + i_2(e_1 - e_3) + i_3(e_2 - e_1).$$

Mais, dans le cas particulier de phases également chargées, la valeur moyenne de chacun des trois termes est égale, et l'on peut se borner à intégrer le premier. Le montage sera alors très simple; le système mobile se réduira à un seul disque qui sera soumis à l'action simultanée : 1° d'une bobine série parcourue par le courant i_1; 2° d'une bobine dérivation donnant un champ en quadrature avec $e_3 - e_2$; comme plus haut, cette bobine pourra simplement être excitée par la tension e_2 (entre les fils 1 et 3), à condition d'être combinée de telle sorte que le champ soit en retard de 60 degrés sur la tension excitatrice.

Les compteurs exposés étaient accompagnés d'un rapport très complet du professeur Kittler, d'où il résulte que la plupart des erreurs dans les cas variés qui peuvent se présenter atteignent au plus 2 p. 100. Nous avons fait nous-mêmes[1] une série de déterminations dans des circonstances extrêmement variées; nous avons étudié les cas suivants (les récepteurs étant montés en triangle) :

1° Trois phases également chargées (résistances non inductives);

2° Trois phases également chargées (résistances inductives);

3° Deux phases chargées (résistances non inductives);

[1] Laboratoire central d'électricite.

4° Une seule phase chargée (résistance non inductive);

5° Une seule phase chargée (résistance inductive);

6° Trois phases inégalement chargées (résistances inductives).

Nous avons trouvé que, dans le cas de charges égales (inductives on non), l'appareil était juste à moins de 2 p. 100.

Dans le cas de charges inégales, nous avons observé des différences s'élevant à 3 ou 4 p. 100.

Il est intéressant d'observer que, dans le cas d'une seule phase chargée, deux cas peuvent se présenter : ou bien le courant alternatif simple que l'on a alors agit sur les deux disques, ou il n'agit que sur un seul; il semble résulter de nos mesures que le compteur est plus exact dans le second cas que dans le premier ; une anomalie semblable se remarque également dans les tableaux du professeur Kittler.

Nous nous sommes étendus assez longuement sur cet appareil qui nous a semblé fort intéressant; on peut lui faire la critique générale de tous les compteurs fondés sur le principe de Ferraris : il est sensible aux variations de fréquence, et par suite à la présence d'harmoniques supérieurs dans les courbes de courant ou de tension; peut-être les erreurs que nous avons observées tiennent-elles à ce que le courant était fortement déformé par les procédés (moteurs à vide ou bobines de réaction) que nous employions pour produire de forts décalages.

II. COMPTEURS OSCILLANTS.

Compteur Aron. — Le plus connu des compteurs oscillants est, sans contredit, le compteur Aron, qui figurait déjà à l'Exposition de 1889 et dont le principe est bien connu. Deux pendules, dont la masse inférieure est constituée par l'enroulement à fil fin d'un wattmètre ordinaire, oscillent en présence de deux bobines fixes à gros fils constituant la bobine série de ce même wattmètre; dans ces conditions, la force électro-dynamique qui s'exerce respectivement entre les enroulements fixes et mobiles est proportionnelle à la puissance à mesurer: le sens d'enroulement est choisi de telle sorte que, pour l'un des pendules, cette force F s'ajoute au poids P, et pour l'autre s'en retranche.

Soient alors K le moment d'inertie des pendules, l la longueur du pendule simple synchrone, n le nombre d'oscillations par seconde lorsque le courant ne passe pas, et N et N′ le nombre d'oscillations pour les deux pendules lorsque le courant passe; on a :

$$n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{Pl}{K}}$$

$$N = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{(P+F)l}{K}}$$

$$N' = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{(P-F)l}{K}}.$$

D'où :

$$N = n\sqrt{1+\frac{F}{P}} = n\left[1+\frac{1}{2}\frac{F}{P}-\frac{1}{8}\left(\frac{F}{P}\right)^2\right]$$

$$N' = n\sqrt{1-\frac{F}{P}} = n\left[1-\frac{1}{2}\frac{F}{P}-\frac{1}{8}\left(\frac{F}{P}\right)^2\right],$$

en supposant que la force électro-dynamique est assez petite par rapport au poids pour que l'on puisse négliger les puissances de $\frac{F}{P}$ supérieures à la deuxième.

De ces équations on tire :

$$N - N' = n\frac{F}{P}.$$

La différence $N - N'$ est donc proportionnelle à la puissance à mesurer. L'artifice bien connu du train différentiel permet de donner au système compteur proprement dit une vitesse proportionnelle à $N - N'$, et par suite à la puissance à mesurer.

La théorie de l'appareil exige essentiellement que les durées normales d'oscillation des deux pendules soient rigoureusement égales; dans les anciens modèles, on cherchait à réaliser aussi exactement que possible cette égalité, ce qui était fort difficile, sinon pratiquement impossible; un perfectionnement important a consisté à corriger systématiquement l'erreur, au lieu de chercher à l'annuler. Pour cela, le courant est périodiquement inversé toutes les vingt minutes, par exemple par le jeu même du compteur, dans les bobines à fil fin, de telle sorte que le pendule primitivement retardé avance, et réciproquement. On conçoit, et un calcul exact prouve, que l'on élimine ainsi l'erreur provenant d'un défaut de réglage des pendules. Un mécanisme complémentaire oblige la minuterie du compteur à tourner toujours dans le même sens malgré cette inversion.

Un autre perfectionnement important consiste dans le remontage automatique et électro-magnétique substitué au remontage à la main usité dans les anciens modèles : ce remontage automatique se fait toutes les vingt secondes environ au moyen d'un électro-aimant creux monté directement sur les 110 volts de la distribution et dans lequel le courant est envoyé pendant une fraction de seconde seulement; l'armature, aspirée par l'électro, arme un ressort qui entretient le mouvement d'horlogerie.

La puissance absorbée par le compteur (remontage compris) ne dépasse pas 1,8 watt; la faiblesse de ce nombre tient à ce que les actions électro-dynamiques ayant ici simplement un rôle de *déclenchement*, et non un rôle moteur, les ampèretours des enroulements, et en particulier de l'enroulement à fil fin, peuvent être très réduits.

De nombreux compteurs fondés sur ce principe étaient exposés par la société Aron dans les sections française, allemande et anglaise. Voici, par exemple, l'énumération des compteurs exposés dans la section allemande :

1° Watt-heure-mètre pour courant continu, 50 ampères × 110 volts;

2° Watt-heure-mètre à deux tarifs, 300 ampères × 220 volts;

3° Watt-heure-mètre pour distribution triphasée à 4 fils, $\sqrt{3}$, 50 ampères × 110 volts;

4° Watt-heure-mètre pour courant alternatif triphasé avec transformateur;

5° Watt-heure-mètre pour charge et décharge d'accumulateurs, 200 ampères × 110 volts;

6° Watt-heure-mètre pour courant alternatif monophasé, 30 ampères × 100 volts 50 périodes par seconde;

7° Watt-heure-mètre pour courant continu, 1,000 ampères × 110 volts;

8° Watt-heure-mètre pour courant alternatif triphasé $\sqrt{3}$ 50 ampères × 110 volts;

9° Compteur horaire à remontage automatique;

10° Compteur horaire à prépayement.

Dans la section française nous retrouvons les mêmes types, avec, en plus, un compteur à cinq fils pour 4 × 100 ampères × 110 volts, et un compteur pour courant alternatif simple avec transformateur pour 12 ampères × 6,500 volts, 42 périodes par seconde.

Parmi tous ces types, celui qui nous a paru le plus intéressant est le compteur pour distribution triphasée à quatre fils. M. le docteur Aron s'est proposé de réaliser un appareil pouvant s'adapter au cas le plus complexe que l'on puisse rencontrer dans les distributions triphasées, celui ou les récepteurs sont disposés indifféremment en triangle et en étoile, et où, de plus, il existe un fil neutre[1]; dans ce cas, l'égalité fondamentale

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

n'est plus vraie et doit être remplacée par

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0,$$

i_4 étant le courant dans le fil neutre.

Soient comme toujours A, B, C les trois bornes des récepteurs, O le point neutre. On a évidemment :

$$(1) \qquad \begin{aligned} P = {} & i_{AB}(V_A - V_B) + i_{BC}(V_B - V_C) + i_{CA}(V_C - V_A) \\ & + i_{AO}(V_A - V_O) + i_{BO}(V_B - V_O) + i_{CO}(V_C - V_O). \end{aligned}$$

Mais

$$\begin{aligned} V_A - V_B &= V_A - V_O - (V_B - V_O) \\ V_B - V_C &= V_B - V_O - (V_C - V_O) \\ V_C - V_A &= V_C - V_O - (V_A - V_O). \end{aligned}$$

Remplaçant dans (1), il vient :

$$\begin{aligned} P &= (i_{AB} + i_{AO} - i_{CA})(V_A - V_O) + (i_{BC} + i_{BO} - i_{AB})(V_B - V_O) \\ &\quad + (i_{CA} + i_{CO} - i_{BC})(V_C - V_O) \\ &= i_1(V_A - V_O) + i_2(V_B - V_O) + i_3(V_C - V_O), \end{aligned}$$

et cette expression est tout à fait générale, même dans le cas où il y a un quatrième fil.

Cela posé, supposons que le compteur ne soit appliqué, comme cela a lieu en général, qu'à la mesure d'une très faible fraction de la puissance de la station centrale; alors, même si les phases (aussi bien dans le triangle que dans l'étoile) sont inégalement

[1] La *Compagnie pour la fabrication des compteurs* (France) construit également des compteurs Thomson pour le même usage.

chargées, les six tensions $V_A - V_B$, $V_B - V_C$, $V_C - V_A$ d'une part, $V_A - V_O$, $V_B - V_O$, $V_C - V_B$ de l'autre, sont toujours triphasées, et l'on a :

$$V_A - V_O + V_B - V_O + V_C - V_O = O.$$

D'où :

$$P = (i_1 - i_3)(V_A - V_O) + (i_2 - i_3)(V_B - V_O).$$

Telle est la relation utilisée dans le compteur pour distribution triphasée à quatre fils qui figurait à l'Exposition :

Les courants i_1, i_2, i_3 passent dans trois bobines fixes égales; les bobines 1 et 3 agissent différentiellement sur un premier pendule alimenté par la tension $V_A - V_O$; les bobines 2 et 3 agissent de même sur un second pendule alimenté par la tension $V_B - V_O$; le sens des connexions des fils fins est d'ailleurs choisi de manière que la *différence* des nombres d'oscillations mesure la valeur moyenne de l'expression précédente de la puissance. On voit que ce mode de montage est plus général que l'ancien système bien connu, du même auteur, pour courants triphasés sans fil de retour, système fondé sur l'emploi de l'équation (voir page 314).

$$P = e_1 i_2 - e_2 i_1$$

qui suppose essentiellement que l'on a :

$$i_1 + i_2 + i_3 = O.$$

Cette équation peut d'ailleurs facilement être complétée pour le cas d'un système à quatre fils; on trouve alors :

$$P = e_1 i_2 - e_2 i_1 - \frac{i_4}{3}(e_2 - e_1),$$

i_4 étant le courant dans le fil neutre compté positivement dans le même sens que les autres.

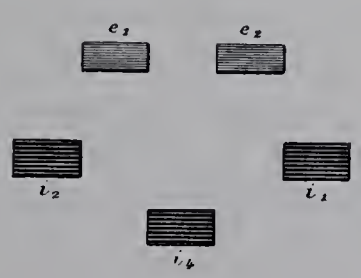


Fig. 11.

Cette équation s'applique facilement au compteur Aron. Les pendules à fil fin seront alimentés respectivement par les tensions $e_1 = (V_B - V_C)$ et $e_2 = (V_C - V_A)$; sur ces deux pendules agiront séparément deux bobines fixes parcourues par les courants i_2 et i_1, et, de plus, une troisième bobine parcourue par le courant i_4 et comprenant trois fois moins de spires ou placée à une distance plus grande et agissant à la fois sur les deux pendules e_1 et e_2 (fig. 11).

IMPRIMERIE NATIONALE.

Compteurs de l'Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft. — Ces compteurs sont des compteurs oscillants caractérisés par ce fait que la minuterie avance de quantités égales à chaque oscillation du compteur; c'est donc la périodicité de ces oscillations qui varie avec la puissance à mesurer et est proportionnelle à cette puissance. Ces compteurs s'appliquent exclusivement au courant continu; la même Société emploie le compteur Hummel pour le courant alternatif (voir plus haut, p. 309).

Imaginons un wattmètre dont la bobine à fil fin puisse osciller entre deux positions extrêmes; si, chaque fois qu'elle atteint une de ces positions, on inverse le courant qui la parcourt, elle prendra un mouvement oscillatoire dont la fréquence sera proportionnelle au couple, à condition que le mouvement soit constamment amorti, comme dans un compteur Thomson, par exemple, de manière que, à chaque instant, la vitesse angulaire soit elle-même proportionnelle au couple.

L'inversion du courant dans une bobine à fil fin provoque en général des étincelles nuisibles aux contacts; pour éviter ces étincelles, l'A. E. G. constitue la bobine mobile par deux enroulements exactement égaux et opposés; l'inversion du couple s'obtient simplement par la mise en court-circuit alternative de ces deux moitiés de l'enroulement.

Pour transmettre le mouvement à la minuterie, on emploie un relai qui est commandé par le wattmètre lui-même de la manière suivante :

Le circuit dérivé (fig. 12) comprend (outre les résistances ordinaires) :

1° Un électro-aimant fixe A;

2° La première moitié de la bobine mobile à fil fin B;

3° La deuxième moitié de cette bobine C;

4° Un deuxième électro-aimant fixe D.

Deux armatures A′ et D′ solidaires mécaniquement, mais magnétiquement différentes, peuvent osciller entre les électro-aimants A et D, en faisant avancer chaque fois, au moyen d'un cliquet, la minuterie d'une même quantité; de plus, ces armatures, suivant qu'elles sont attirées par l'électro A ou l'électro D, mettent en court-circuit la moitié B ou la moitié C de la bobine mobile.

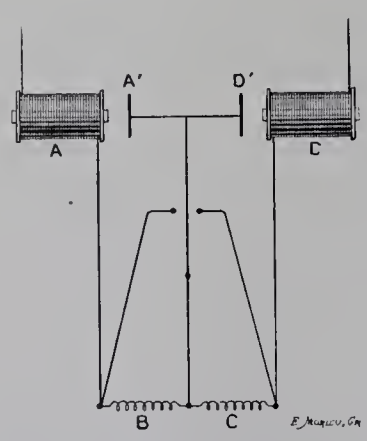


Fig. 12.

Cette bobine elle-même porte un bras qui, arrivé aux deux extrémités de sa course, mettra respectivement en court-circuit, pendant un temps très court, les deux électros A et D.

Cela posé, le fonctionnement de l'appareil est facile à comprendre : partons d'un moment où la bobine mobile est au milieu de sa course, le courant passant par exemple dans la moitié B, et la moitié C étant en court-circuit; arrivée au bout de sa course, elle met en court-circuit, pendant un temps très court, l'électro-aimant D; aussitôt l'électro A attire son armature et met en court-circuit la moitié B, tandis que le courant passe dans la moitié C; le mouvement de la bobine mobile change de sens; lorsqu'elle arrive à l'autre extrémité de sa course, les phéno-

mènes inverses se produisent : l'électro A est mis en court-circuit pendant un temps très court, l'armature est attirée par l'électro D et met à son tour en court-circuit la moitié C de la bobine; le courant passe alors dans la moitié B et le mouvement s'inverse. Le mouvement de va-et-vient des armatures est utilisé pour faire avancer chaque fois d'une même quantité une roue à rochet.

On voit facilement que cette disposition a pour résultat de donner une mobilité très grande au système mobile, puisque ce système n'est plus chargé, comme dans les compteurs moteurs, de faire avancer tout le mouvement d'horlogerie; au lieu du collecteur qui exige toujours un certain entretien et entraîne toujours un certain couple résistant dû aux frottements du balai, on emploie pour amener le courant dans la bobine mobile trois fils très fins (les deux bobines ayant une extrémité commune) choisis assez longs pour que leur torsion ne produise aucun couple appréciable sur le système mobile. La minuterie étant actionnée par un relai spécial peut évidemment être séparée du wattmètre proprement dit et placée aussi loin que l'on veut, ce qui, dans certains cas spéciaux, peut être avantageux. La courbe d'erreur de ce compteur est caractéristique; pour les faibles charges, l'erreur est négative; elle commence par diminuer en valeur absolue, passe par zéro, devient positive, passe par un maximum pour une charge égale environ à 10 p. 100 de la charge maxima, s'annule de nouveau à 60 p. 100 de la charge maxima, puis redevient négative. On peut attribuer ces variations aux causes suivantes : au début, comme dans tous les compteurs, le frottement au départ cause un retard; puis l'importance relative de ce frottement diminue et le compteur tend à devenir exact; plus tard apparaît une autre cause de retard : c'est le temps perdu à chaque demi-oscillation au moment de l'inversion du courant, temps perdu dont l'importance relative devient d'autant plus grande que les oscillations deviennent plus rapides.

III. COMPTEURS À INTÉGRATION DISCONTINUE.

Ces compteurs, qui, en 1889, semblaient être les plus scientifiques et les plus perfectionnés, ont perdu plutôt de leur importance, sans doute à cause de leur complication.

Compteurs Brillié. — Le compteur Brillié, qui figurait déjà à l'Exposition de 1889, était encore exposé cette année par la *Compagnie anonyme continentale pour la fabrication des compteurs* (France); nous ne reviendrons pas ici sur sa description que l'on trouvera dans le rapport de M. Potier sur l'Exposition de 1889.

Compteurs Brown et Routin. — Le compteur Brown et Routin, exposé par la maison *C. Loubery* (France), appartient à ce même type; l'organe principal est un wattmètre dont la déviation, proportionnelle aux watts à mesurer, entraîne une came excentrique convenablement calculée; contre cette came vient appuyer, à des intervalles de temps égaux, un levier dont la course est ainsi proportionnelle à la puissance; à chaque fois ce levier fait avancer d'une quantité proportionnelle le rouage totalisateur; ainsi, comme nous l'avons remarqué au début, tandis que les compteurs dans le genre de celui de

l'A. E. G. avancent de quantités égales à des intervalles de temps variables, les compteurs à intégration discontinue, dans le genre de celui de MM. Brown et Routin, avancent de quantités variables à des intervalles de temps égaux.

Comment d'ailleurs obtient-on ces intervalles de temps égaux? C'est ce que nous verrons dans un chapitre suivant, où nous étudierons les applications spéciales de ce compteur.

Compteur Siemens. — La maison *Siemens et Halske* (Allemagne) exposait également un compteur à intégration discontinue; ce compteur se compose d'un wattmètre (ou, s'il s'agit d'un compteur de quantité, d'un ampèremètre) à lecture directe; l'index de l'appareil est ramené périodiquement (en pratique toutes les 3,75 secondes) à sa position zéro, et un rouage totalisateur additionne ces angles successifs; pour cela, un balancier, semblable aux balanciers de montres, mais de plus grandes dimensions, oscille périodiquement; le mouvement de ce balancier est entretenu, par une disposition facile à imaginer, par un électro-aimant; il porte un petit cliquet qui normalement se meut à une très petite distance d'une roue à rochet constituant le premier mobile d'un train d'engrenages; dès que ce cliquet rencontre l'index du wattmètre, il se met en prise avec la roue et la fait avancer; une butée convenable arrête le mouvement dès que l'index est revenu au zéro, puis la même série de phénomènes se reproduit périodiquement; grâce à la grande vitesse de l'index du système de mesure et à la faible inertie du cliquet, l'index n'a pas le temps de se déplacer d'une manière sensible avant que le cliquet ne vienne en prise avec la roue finement dentée. D'après les données des constructeurs, la dépense à vide d'un tel compteur ne dépasse pas 1 watt sous 100 volts, et l'erreur n'atteint pas 2 p. 100 dès que la charge dépasse 3.3 p. 100 de la charge maxima.

Compteur Holden. — Nous rattacherons également au type des compteurs à intégration discontinue le compteur Holden qui avait été exposé par M. Garfield. Le principe en est très intéressant; il participe à la fois du compteur à oscillation et du compteur à intégration discontinue.

Un mouvement d'horlogerie (à remontage électro-magnétique) envoie à des intervalles de temps égaux (en pratique toutes les minutes) le courant dans le circuit à fil fin d'un wattmètre ordinaire; cette bobine est déviée d'un angle θ, limité par une butée fixe, et par conséquent toujours le même, quelle que soit la puissance à mesurer; des ressorts antagonistes, dont la tension s'accroît par la rotation du système mobile, ramènent en arrière ce système dès que le courant n'y passe plus; en pratique, un intervalle de temps de 1,5 sec. suffit pour que la bobine parcoure l'angle θ.

Cette bobine entraîne dans son mouvement, au moyen d'un cliquet et d'une roue finement dentée, un système amortisseur très différent des amortisseurs ordinaires; le disque mobile entre des pôles d'aimants est en fer, et non en cuivre, en sorte que le couple résistant provenant de l'hystérésis est constant et indépendant de la vitesse du disque; l'auteur admet implicitement que le couple provenant des courants de Foucault est négligeable par rapport à celui-là; c'est une critique assez sérieuse qu'on peut lui adresser. Ce sera à l'expérience de justifier cette approximation. La course de ce disque,

n'étant pas limitée par une butée, peut continuer librement jusqu'à ce que toute son énergie cinétique ait été consommée par l'hystérésis. Soient alors C le couple moyen qui s'exerce entre les bobines fixes et mobiles, couple proportionnel à la puissance à mesurer; S le couple moyen dû au ressort; D le couple dû à l'hystérésis. Le travail total du courant est $C\theta$; ce travail est employé : 1° à surmonter le couple résistant des ressorts; 2° à surmonter le couple résistant dû à l'hystérésis; 3° à communiquer au système une certaine énergie cinétique W. On a donc :

$$C\theta = S\theta + D\theta + W.$$

D'où :

$$W = (C - S - D)\,\theta.$$

Cette énergie cinétique se partage entre la bobine et le disque en raison directe des moments d'inertie. Soient M le moment d'inertie du disque, m celui des bobines, l'énergie cinétique de la bobine à la fin de sa course sera :

$$W\frac{M}{M+m}$$

et celle du disque au même moment sera :

$$W\frac{m}{M+m}.$$

La première sera détruite par le choc contre les butées; la deuxième sera absorbée par l'hystérésis du disque : soit φ l'angle total d'impulsion du disque; l'angle dont il tournera après l'arrêt de la bobine sera $\varphi - \theta$, et l'énergie absorbée par l'hystérésis sera :

$$D(\varphi - \theta).$$

On aura donc :

$$W\frac{m}{M+m} = D(\varphi - \theta)$$

ou

$$(C - S - D)\,\theta\frac{m}{M+m} = D(\varphi - \theta).$$

D'où :

$$D\varphi = \left(C\frac{m}{M+m} - S\frac{m}{M+m} + D\frac{M}{M+m}\right)\theta.$$

Si l'on veut que l'angle φ, dont le disque avance toutes les minutes, soit proportionnel à C, il faudra faire en sorte que

$$DM = Sm.$$

On y arrivera par un réglage convenable des ressorts et du champ magnétique auquel est soumis le disque de fer.

COMPTEURS DE QUANTITÉ.

Les compteurs de quantité sont beaucoup moins employés que les compteurs d'énergie, et pourtant, dans bien des cas, ils pourraient rendre, par leur simplicité même, de grands services. Le plus remarquable de ceux qui figuraient à l'Exposition est, sans contredit, le compteur O. K. exposé, comme le compteur Thomson, par la *Compagnie pour la fabrication des compteurs* (France). Le compteur O. K. est fondé sur le principe suivant: si une machine magnéto-électrique (ayant pour inducteurs des aimants permanents), dans laquelle les frottements de toutes natures sont négligeables, est soumise à une différence de potentiel donnée, elle prendra une vitesse telle, que sa force contre-électro-motrice soit exactement égale et opposée à cette différence de potentiel, c'est-à-dire une vitesse proportionnelle à la différence de potentiel donnée; si cette différence de potentiel est prise simplement aux bornes d'une résistance constante traversée par un courant I, la vitesse sera proportionnelle à I, et par suite l'espace parcouru (que l'on pourra enregistrer au moyen d'une minuterie quelconque) sera proportionnel à $\int I dt$, c'est-à-dire à la quantité totale d'électricité ayant passé dans le circuit. On a donc réalisé ainsi un compteur de quantité; cela suppose que l'inertie de la partie tournante soit assez faible pour que celle-ci puisse suivre rapidement les fluctuations de l'intensité.

Dans le compteur O. K., l'inducteur est un aimant permanent; l'induit enroulé en tambour est analogue à celui des compteurs Thomson et ne contient pas de fer, ce qui permet de le rendre très léger. Il n'y a, bien entendu, aucun amortisseur, puisque l'on suppose les frottements négligeables.

Ce compteur convient surtout aux petits consommateurs, pour lesquels la dépense dans le fil fin d'un compteur d'énergie deviendrait relativement très importante.

Ce compteur est d'une sensibilité extrême; pour le modèle de 5 ampères (maximum), la résistance fixe en maillechort est de 0,1 ohm. Le démarrage se produit pour un courant de 0,03 ampère traversant le conducteur principal; le courant qui passe alors dans le circuit dérivé est de 0,00025 ampère. La puissance motrice est alors de 0,6 microwatt.

Si on alimente le compteur O. K. avec une différence de potentiel constante, il tourne à vitesse constante et peut, par conséquent, servir d'horloge. La Compagnie des compteurs exposait, comme application de ce cas, un compteur de conversations téléphoniques : le moteur se met en mouvement dès que le crochet du récepteur est relevé, sous l'influence d'une pile locale dont on peut considérer la force électromotrice comme suffisamment constante (le débit étant presque nul), et la quantité dont le compteur avance est proportionnelle au temps de la conversation.

COMPTEURS HORAIRES.

Nous retrouvons ici, comme en 1889, comme compteur horaire, le compteur *Aubert* (Suisse), dont l'extrême simplicité a fait le succès et qui se trouve répandu par milliers dans un très grand nombre d'installations où, le nombre de lampes en service étant fixe et alimentées à potentiel constant, il suffit de connaître la durée de l'allumage pour avoir une idée approximative de l'énergie dépensée. Dans ces compteurs, le déclenchement du mouvement d'horlogerie se fait soit par l'action d'un électro-aimant (en général placé en série sur le circuit), soit par le jeu même de l'interrupteur qui ferme le circuit. La durée du mouvement, qui était autrefois de 200 heures seulement, est portée à 500, ce qui représente 17 heures par jour pendant 1 mois. Pour certaines applications particulières, par exemple l'éclairage des wagons par accumulateurs, les cadrans sont gradués de manière à indiquer non pas le temps de l'éclairage effectué, mais le temps d'éclairage que la batterie peut encore fournir.

La Compagnie des compteurs Aron exposait également un compteur horaire à remontage électromagnétique.

MODE D'EMPLOI DES COMPTEURS.

On sait de quelle importance sont, pour les stations centrales, les questions de tarification de l'énergie. Les constructeurs de compteurs semblent faire, depuis quelques années, des efforts notables pour faciliter autant que possible cette souplesse de tarifs qui est si nécessaire. Nous avons remarqué, à ce point de vue, à l'Exposition de 1900, des compteurs à payement préalable, des compteurs à double tarif, des compteurs à tarif multiple.

Compteurs à prépayement. — Des compteurs de ce genre étaient exposés par la *Compagnie pour la fabrication des compteurs* (compteurs Thomson) et par la *Compagnie anonyme continentale* (compteurs Vulcain). Nous décrirons seulement ce dernier. Un arbre A porte deux pignons dentés B et B′, qui sont fous sur lui; ces deux pignons engrènent avec une roue satellite solidaire de l'arbre; on connaît les propriétés de ce train différentiel : chaque fois que, l'un des pignons étant fixe, l'autre tourne d'un angle α, l'arbre est entraîné dans le sens de rotation du pignon d'un angle $\frac{\alpha}{2}$. Le pignon B est solidaire d'une roue à rochet, de sorte qu'il ne peut tourner que dans un seul sens. Un bouton C, qui est à la disposition du client, est, en temps ordinaire, indépendant du pignon B; mais, dès que l'on glisse une pièce de monnaie dans une fente F, C entraîne B pendant $\frac{1}{10}$ de tour, puis la pièce de monnaie tombe dans un réservoir plombé. B tournant de $\frac{1}{10}$ de tour entraîne l'arbre A qui tourne de $\frac{1}{20}$ de tour, et dans ce mouvement commence à bander un ressort X, qui tend à le ramener en arrière. En même temps, ce mouvement, au moyen d'une came solidaire de l'arbre A, ferme un interrup-

teur D, qu'un enclenchement convenable empêche de revenir en arrière malgré l'action d'un ressort r; dès ce moment, le client peut avoir de la lumière; s'il introduit alors une série de pièces de monnaie identique à la première, il peut chaque fois faire tourner l'arbre A d'un vingtième de tour, la came n'ayant plus aucun rôle et l'interrupteur demeurant fermé. Comment maintenant le courant sera-t-il interrompu, dès que le prix de l'énergie consommée atteindra la valeur de la somme introduite? Soit a la quantité d'énergie correspondant à une pièce de monnaie. Il faut : 1° que chaque fois que la quantité a aura été consommée, l'arbre A revienne de $\frac{1}{20}$ de tour en arrière; 2° que lorsque cet arbre aura retrouvé sa position primitive, l'interrupteur D soit de nouveau ouvert. La première condition est obtenue de la façon suivante : le pignon B′ est le dernier terme d'un train d'engrenage qui aboutit, comme dans une horloge, à un échappement à ancre; mais cet échappement, au lieu d'être sous la dépendance d'un pendule ordinaire, est commandé au moyen d'un bouton excentrique coulissant dans une fourche par le dernier rouage de la minuterie du compteur, en sorte que la fréquence de l'échappement, au lieu d'être constante comme dans une horloge, varie proportionnellement à la puissance utilisée; il en résulte immédiatement que l'angle dont tourne pendant un certain temps l'arbre A (entraîné par la roue satellite et le pignon B) est proportionnel à l'énergie dépensée pendant ce temps : on règle le train d'engrenages placé entre l'échappement et le pignon B′, de sorte que l'arbre tourne de $\frac{1}{20}$ de tour chaque fois que l'on a consommé la quantité d'énergie dont le prix est représenté par une pièce de monnaie. Lorsqu'il arrive au bout de sa course, une goupille soulevant un levier provoque le déclenchement de l'interrupteur qui s'ouvre brusquement sous l'effort du ressort r.

Dans l'appareil qui vient d'être décrit, le système à prépayement est solidaire du système compteur; dans le modèle exposé par la *Compagnie pour la fabrication des compteurs*, au contraire, le mécanisme de l'appareil à prépayement est tout à fait indépendant du compteur, et peut même être placé en un endroit quelconque, en étant simplement relié au compteur par la canalisation.

Compteurs à double tarif. — Les principaux constructeurs de compteurs, que nous avons eu occasion de citer dans ce travail, exposaient des compteurs à double tarif, permettant de changer automatiquement, à une heure déterminée, le prix de l'énergie payé par un abonné.

Dans le *change-tarif automatique*, exposé par la *Compagnie pour la fabrication des compteurs*, un mouvement d'horlogerie produit, à l'heure choisie suivant les cas, soit l'augmentation de la résistance placée dans le shunt du compteur, soit le changement du cadran d'enregistrement, soit le changement du compteur même sur lequel se fait cet enregistrement.

La Compagnie des compteurs Aron exposait aussi un compteur à double tarif; ce compteur comprend deux parties principales : 1° un compteur Aron ordinaire, mais à double cadran, pour deux tarifs; 2° du côté gauche, une horloge, qui comprend elle-

même cinq cadrans placés de la façon suivante : au centre, un cadran ordinaire indiquant les heures; à la partie inférieure, deux cadrans, dits *réveilleurs,* qui font le changement de tarif automatiquement, suivant la place des aiguilles sur les heures; enfin, à la partie supérieure, à gauche, un petit cadran divisé en deux parties, l'une noire et l'autre blanche, pour indiquer si les heures données par le cadran horaire sont diurnes ou nocturnes; à droite, un autre petit cadran pour les secondes.

Le réveilleur de gauche A correspond avec le cadran n° 1 du compteur; le réveilleur de droite B, avec le cadran n° 2.

Si, par exemple, on désire que la consommation soit enregistrée sur le tarif n° 1, de 8 heures du matin jusqu'à 6 heures du soir, on place l'aiguille tournante du réveilleur A sur le chiffre 8 dans la partie blanche, et l'aiguille tournante du réveilleur B sur le chiffre 6 de la partie noire.

L'horloge est à remontage électromagnétique ou à remontage ordinaire; dans le premier cas, le remontage a lieu automatiquement toutes les 30 minutes; dans le second cas, toutes les 30 heures.

L'*Elektricitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert* exposait également un compteur à double tarif, fondé sur des principes analogues.

Compteurs à tarif variable. — Les compteurs à double tarif, que nous venons de décrire, constituent déjà pour les stations centrales des appareils très précieux, en leur permettant d'abaisser leurs prix pendant les heures de jour et de nuit, et de conserver leur tarif maximum pendant la soirée, à l'heure du coup de feu. MM. Brown et Routin se sont proposés d'aller plus loin, et de permettre aux stations centrales d'appliquer, suivant les heures de la journée, autant de tarifs variables que l'on voudra; ce système est fort intéressant, en ce sens qu'il permet de suivre aussi exactement que possible la loi économique de l'offre et de la demande; étant donnée la courbe de charge d'une usine centrale, courbe dont la forme dépend des habitudes et des besoins de la clientèle, il est logique de baisser beaucoup le prix de kilowatt-heure aux heures de faible consommation, de le maintenir maximum à l'heure du coup de feu et, entre les deux, de proportionner le prix à la demande; cette répartition de tarifs aura alors l'influence la plus heureuse sur la forme même de la courbe, en tendant à l'uniformiser.

L'artifice employé par MM. Brown et Routin consiste à employer un compteur à intégration discontinue (voir p. 323); mais, tandis que, dans les appareils ordinaires de cette catégorie, la période d'intégration est toujours la même et réglée par l'appareil lui-même, ici la période d'intégration est essentiellement variable, et, c'est là le point à remarquer, à la disposition absolue de la station génératrice; c'est une *horloge-mère* unique, placée dans cette station, qui envoie dans le réseau, à des intervalles de temps réglables à volonté, des courants parasites destinés à agir, dans chaque compteur, sur l'électro-aimant qui commande l'intégration des indications du wattmètre. Le point le plus original de l'invention consiste dans l'artifice employé pour empêcher ces courants parasites de se confondre avec les courants principaux du réseau : s'il s'agit d'un réseau à courants continus, l'horloge-mère y envoie, à des intervalles de temps égaux et ré-

glables, et pendant une durée très courte, un courant alternatif, de préférence à fréquence un peu élevée, fourni par un alternateur auxiliaire; un des pôles de cet alternateur communique avec la terre, l'autre avec un fil A de la canalisation; à l'arrivée chez l'abonné, l'électro-aimant du système intégrateur communique, d'une part, avec le fil A, d'autre part, avec un condensateur dont la seconde armature est mise à la terre; par cet artifice, le courant continu, étant isolé de la terre par le diélectrique du condensateur, ne peut pas passer; tandis que, comme on le sait, le courant alternatif peut agir dans ces conditions. S'il s'agit d'une distribution par courants alternatifs à basse tension, par un réseau secondaire partant d'une sous-station, par exemple, l'horloge-mère sera placée dans cette sous-station et enverra, cette fois dans le réseau, du courant continu; l'électro-aimant intégrateur, chez chaque abonné, sera ici séparé du sol non plus par un condensateur, mais par une bobine de self-induction. Enfin, s'il s'agit d'une distribution par courants alternatifs à haute tension, avec transformateur chez les abonnés, il est nécessaire de faire partir de l'usine centrale un fil spécial pour les électro-aimants intégrateurs.

Tel est ce système fort remarquable qui est actuellement à l'essai dans une partie de la ville de Bordeaux; l'avenir nous apprendra comment les abonnés accueilleront ce mode de tarification qui est tout à leur avantage, mais qui exige d'eux une confiance absolue dans les manœuvres de l'usine génératrice qui peut, à son gré, faire avancer ou retarder leurs compteurs.

CONSOMMATION À VIDE DES PRINCIPAUX COMPTEURS[1].

Pour terminer, nous résumerons ici les consommations à vide des différents compteurs que nous avons eu occasion d'examiner.

CONSOMMATION À VIDE DES PRINCIPAUX COMPTEURS.

		AMPÈRES.	VOLTS.	WATTS.
Compteurs	Thomson	10	110	3,35
	Vulcain	10	110	2,43
		25	110	2,44
	Schuckert (courant continu)	150	220	6,00
		10	110	3,35
	Aron	6	125	1,88
	Raab (Schuckert)	10	110	2,3
	A. E. G. (courant continu)	5	110	1,5

Cette consommation à vide, si faible qu'elle soit, ne laisse pas que d'entraîner une perte notable pour des réseaux un peu étendus. Mais, suivant une remarque de M. Brocq,

[1] Résultats obtenus au Laboratoire central d'électricité.

l'énergie consommée par les compteurs doit être comptée non au prix de vente au lieu de distribution, mais au prix d'achat du charbon correspondant à l'usine génératrice. Car la seule différence entre deux stations, utilisant l'une des compteurs consommant beaucoup, l'autre des compteurs consommant peu, est que la première brûlera plus de charbon que la seconde. Cette remarque cesserait évidemment d'être juste si les canalisations étaient chargées au maximum.

DEUXIÈME PARTIE.

LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE PAR ARC.

CHAPITRE PREMIER.

GÉNÉRALITÉS.

L'éclairage électrique par l'arc, on s'en souvient, jouait un rôle important à l'Exposition de 1889; on possédait, dès cette époque, des charbons très satisfaisants, et les principes de construction des régulateurs étaient déjà bien connus et étudiés. Les progrès que nous rencontrerons dans ce domaine de l'électricité pratique seront donc bien plutôt des progrès de développement que des progrès de perfectionnement.

Les études approfondies qui ont été faites sur l'arc, durant cette période, ont établi définitivement ce résultat, d'ailleurs facile à prévoir, mais qui ne semble pas encore aujourd'hui bien clairement aperçu de tout le monde : la valeur photométrique d'une lampe à arc dépend uniquement de la nature et des diamètres des charbons employés, ainsi que du régime électrique auquel on les soumet, et nullement du mécanisme particulier de la lampe. Ce mécanisme n'intervient qu'au point de vue de la qualité et de la régularité de la lumière émise; nous négligeons, bien entendu ici, les petites différences qui peuvent se présenter pour les pertes d'énergie dans les électros de réglage.

Cette remarque s'applique à toutes les lampes fondées sur le principe que nous pourrons appeler *classique*, c'est-à-dire dans lesquelles les charbons sont simplement opposés l'un à l'autre et soumis à l'action d'un mécanisme qui les maintient à distance constante. Rien ne prouve d'ailleurs qu'on ne pourrait pas imaginer d'autres dispositions plus avantageuses, tendant, par exemple, à dégager le plus possible le cratère positif, qui est la principale source de lumière dans l'arc à courant continu, ou les deux cratères dans le cas de l'arc alternatif : nous en trouverons deux exemples (lampe Ganz, lampe Bremer). Mais, jusqu'ici, c'est la disposition classique seule qui a la plus grande importance pratique.

Si nous nous en tenons à ce système, l'étude de l'arc en lui-même et indépendante de tout mécanisme devient la condition primordiale des progrès des lampes électriques. Cette étude, à laquelle s'attachent surtout les noms de MM. Blondel (en France), Wedding (en Allemagne), Mme Ayrton (en Angleterre), peut être entreprise à deux points de vue principaux : ou bien l'on se propose de chercher la relation qui existe entre les trois quantités fondamentales qui caractérisent un arc donné : longueur, intensité, différence du potentiel; ou bien l'on étudie la manière dont la quantité de lumière, ou le flux lumineux obtenu, varie avec ces trois quantités, dont deux sont des variables indépendantes.

I. Relation entre la longueur, l'intensité et la tension pour une paire de charbons donnée. — L'arc se comporte comme une résistance variable avec l'intensité du courant, et diminuant lorsque cette intensité augmente; c'est dire que la loi d'Ohm ne s'applique pas à l'arc électrique, d'où une complication fort grande dans ses propriétés. Divers auteurs ont abordé, au point de vue purement expérimental, la question de savoir quelle est la loi qui doit remplacer la loi d'Ohm pour l'arc. Les études les plus complètes sur ce sujet sont dues à Mme Ayrton qui est arrivée aux résultats suivants : deux régimes distincts sont possibles pour l'arc, le régime de l'arc silencieux et celui de l'arc sifflant; ce dernier, qui correspond à des densités de courant excessives, et semble dû, d'après M. Blondel, à la transformation du phénomène conductif de l'arc en phénomène disruptif, n'a pas d'importance pratique, car il constitue une marche déplorable; nous le laisserons de côté; dans le cas de l'arc silencieux, c'est-à-dire des conditions normales de fonctionnement, Mme Ayrton a conclu de ses expériences que l'allure générale du phénomène était bien représentée par la formule suivante :

Soient e la différence du potentiel aux charbons, I l'intensité du courant, l la longueur de l'arc; on a :

$$e = a + bl + \frac{c + dl}{\mathrm{I}},$$

a, b, c, d étant des constantes.

Par exemple, dans l'une des expériences citées par Mme Ayrton, on a :

$$e = 38{,}88 + 2{,}07\,l + \frac{11{,}66 + 10{,}54\,l}{\mathrm{I}}$$

pour deux charbons homogènes de 11 millimètres et 9 millimètres de diamètre.

D'après Mme Ayrton, cette somme peut se décomposer ainsi : le terme

$$38{,}88 + \frac{11{,}6}{\mathrm{I}}$$

s'applique à la différence du potentiel au contact entre l'arc et les charbons; cette différence du potentiel est localisée en grande partie (pour les $\frac{4}{5}$ environ) au charbon positif, et pour une faible part au charbon négatif.

Le terme $2{,}07l$ s'applique exclusivement à la chute du potentiel dans l'arc, et le terme $\frac{10{,}54l}{\mathrm{I}}$ s'applique en partie à la chute du potentiel dans l'arc, en partie à la chute du potentiel au charbon positif.

Dans un grand nombre de cas, on peut simplifier la formule précédente et employer simplement la formule à deux termes

$$e = a + \frac{bl}{\mathrm{I}},$$

dans laquelle a représente la chute du potentiel aux charbons, et $\frac{bl}{\mathrm{I}}$ la chute du potentiel dans l'arc.

La première, nous l'avons dit, se partage entre le charbon positif et le charbon négatif; la chute de potentiel a_n au charbon négatif, qui ne dépasse jamais quelques volts, semble indépendante de la nature des charbons; mais la chute du potentiel au charbon positif a_p diminue beaucoup lorsque l'on emploie des charbons à âme saline; voici quelques exemples : pour un charbon ordinaire, on a trouvé, pour $l = 1$ millimètre, $I = 8$ ampères,

$$a_p = 39 \qquad a_n = 4 \qquad b = 32,$$

tandis que, dans les cas de charbons à âme très saline, on peut tenir un arc de 6 millimètres avec un courant de 6 ampères et une tension de 20 volts. L'introduction de ces composés salins dans les charbons dans le but de diminuer la tension nécessaire pour entretenir un arc de longueur donné, ou pour augmenter la longueur des arcs à basse tension, doit être considérée comme le principal progrès réalisé depuis quelques années dans la fabrication des charbons pour arc.

L'ordre de grandeur de ces nombres est, au contraire, entièrement changé dans les conditions où l'on utilise les arcs à haute tension en vase clos; on peut admettre que, pour un arc de 80 volts, la tension se répartit ainsi :

Charbon positif	39
Charbon négatif	4
Arc	37
Total	80

II. Relation entre le flux lumineux, la longueur, l'intensité et la tension pour une paire de charbons donnée. — Les variables e, I, l étant liées par une relation, comme on l'a vu dans le paragraphe précédent, on peut considérer que deux seulement sont des variables indépendantes; nous choisissons l'intensité I et la tension aux charbons e, qui sont susceptibles d'une mesure exacte, tandis que la longueur l est toujours un peu incertaine, en sorte que nous pouvons admettre que le flux lumineux total φ donné par une paire de charbon déterminée est fonction de e et de I :

$$\varphi = f(e, I).$$

La consommation spécifique de l'arc ρ, exprimée en watt par lumen, sera évidemment égale à

$$\rho = \frac{eI}{f(eI,)} \text{ (1)}$$

et le rendement de l'arc, exprimé en lumens par watts, sera $\frac{f(eI,)}{eI}$.

(1) Pour avoir la consommation spécifique en watts par bougie moyenne sphérique, il faudrait multiplier le nombre précédent par 4π.

Ces deux quantités, d'un haut intérêt pratique, seront donc aussi des fonctions des deux variables e et i.

On doit à M. Blondel des études très complètes sur la forme de ces fonctions; nous donnerons ici un résumé de cette étude, qui date de 1897, et dans le chapitre suivant une étude du même genre sur l'un des charbons qui figuraient à l'Exposition.

Si on étudie, à intensité constante, la courbe qui relie les flux lumineux à la tension aux bornes, on trouve que lorsque la tension aux bornes croît, le flux croît d'abord, passe par un maximum, puis décroît. Dans les expériences de M. Blondel, ce maximum avait lieu environ pour 50 à 55 volts.

Quant au rendement, la courbe qui le représente (à intensité constante) a une allure analogue, elle passe par un maximum vers 45 volts.

Nous verrons plus loin comment ces nombres se modifient pour les charbons que nous avons expérimentés.

Le rendement s'élève rapidement, toutes choses égales d'ailleurs, quand le diamètre des charbons diminue : ainsi, pour un courant constant de 10 ampères, le rendement s'élève de 1,15 bougie par watts pour des charbons de 18 millimètres (âme) et 14 millimètres (homogène) à 2 bougies par watts pour des charbons de 8 millimètres et 6 millimètres.

D'après M. Blondel, la raison de ce fait est double :

1° Avec les petits crayons, l'arc est plus fixe, les surfaces portées à l'incandescence ne se déplacent pas, et l'incandescence moyenne du charbon positif peut être plus élevée;

2° Dans les gros charbons, le cratère, au lieu d'être plat comme dans les petits, se creuse de plus en plus en forme de calotte sphérique; en admettant, suivant la loi d'Andrews, que la surface du cratère soit proportionnelle à l'intensité du courant, elle doit rester la même dans les expériences où le courant est maintenu constant; mais le flux de lumière émis par une calotte sphérique creuse est le même que si celle-ci était remplacée par son cercle de base, dont la surface est moindre; par conséquent, le creusement d'un cratère doit, à occultation égale, entraîner une réduction notable de la lumière.

Influence de l'intensité. — Jusqu'ici, nous avons opéré à intensité constante; si, maintenant, on recommence des séries analogues pour d'autres valeurs de l'intensité, on trouve que le flux lumineux et le rendement (pour le voltage de 45 volts) croissent très vite avec l'intensité : par exemple, avec des charbons $\frac{A.18}{H.12}$, le rendement passe de 1,06 bougies par watt pour 10 ampères à 1,81 bougie par watt pour 20 ampères et 2,1 bougies par watt pour 30 ampères.

Influence de la nature des charbons. — 1° Les charbons tendres (riches en noir de fumée) donnent plus de lumière que les charbons durs, mais se consomment plus vite;

2° Les crayons homogènes donnent un rendement meilleur que les mêmes charbons à mèche : cela tient à ce que la mèche abaisse le degré d'incandescence (d'après M. Blondel, l'éclat peut passer de 160 à 120 bougies par millimètre carré par cette seule influence);

3° Les mèches qui abaissent le plus la tension à écart égal sont aussi celles qui donnent le moins de lumière.

Les impuretés, le degré de cuisson de la pâte, etc., influent sur le rendement lumineux.

Comparaison entre les différents groupements de l'arc au point de vue du rendement. — M. Blondel déduit de ses expériences (1897) que le groupement de plus de deux lampes sur 110 volts n'est pas avantageux au point de vue du rendement lumineux : ainsi, avec des charbons $\frac{A.14}{H.12}$ et un courant de 10 ampères, M. Blondel trouve, pour les différents groupements employés :

		INTENSITÉ lumineuse d'un arc.	NOMBRE d'arcs en série.	INTENSITÉ lumineuse totale.
		—	—	—
Tension à l'arc	43	600	2	1,200
	30	180	3	540
	25	100	4	400

Même avec des charbons à mèche très conductrice, permettant de réaliser des arcs qui ne sifflent pas à 35 volts, le rendement absolu n'est pas sensiblement meilleur.

Nous verrons, dans un chapitre suivant, les résultats notablement différents que nous ont donnés les charbons actuels (1900).

CHAPITRE II.

LES CHARBONS POUR ARCS.

Les matières premières généralement employées aujourd'hui pour la fabrication des charbons sont les suivantes [1] :

	PRIX EN FRANCS. par 100 kilogrammes.
Noir de fumée	32
Charbon de cornue	10
Coke de pétrole	8
Goudron	8
Silicate de soude	40

Les charbons de toute première qualité sont composés surtout de noir de fumée et de goudron; dans la qualité ordinaire dominent le charbon de cornue, le coke de pétrole et le goudron; les qualités inférieures ne contiennent plus de noir de fumée.

Voici les compositions des mélanges les plus employés :

Charbons de 1re qualité.	Noir de fumée	80 p. 100.
	Goudron	20

[1] Nous empruntons ces renseignements à l'ouvrage suivant : *Jehl, The Manufactures of carbons for all electrical purposes.* — London, 1899.

Charbons de 2e qualité.	Noir de fumée	50 p. 100.
	Charbon de cornue (ou coke de pétrole)	30
	Goudron	20
Charbons de 3e qualité.	Noir de fumée	30 p. 100.
	Charbon de cornue (ou coke de pétrole)	50
	Goudron	20

Le coke de pétrole est surtout employé dans la fabrication américaine.

Ces matières sont broyées dans un broyeur à trois pilons fonctionnant alternativement; les parcelles de fer que peut contenir le mélange et qui auraient une influence désastreuse sur la qualité du charbon sont enlevées au moyen de séparateurs magnétiques; puis, la matière est réduite à l'état de poudre impalpable dans des cylindres d'acier et mélangée dans des appareils spéciaux; c'est alors que le goudron est incorporé à la masse pour lui donner de la plasticité; on sait qu'autrefois on employait dan ce but des sirops de sucres ou des mélasses; quelques fabricants avaient même été jusqu'à employer des œufs, mais ces *omelettes au charbon* n'ont guère eu de succès. Le mélange plastique des matières carbonées et du goudron est comprimé à la presse hydraulique dans un cylindre maintenu chaud par une enveloppe de vapeur et est forcé à travers des ajutages de diamètre déterminé; les pressions employées sont, suivant la dimension des cylindres, de 1,100, 900 ou 200 atmosphères; les presses peuvent mouler de 120 à 1,500 kilogrammes de charbon par heure; la vitesse de sortie du charbon est de 8 à 10 mètres par minute.

L'orifice des ajutages est circulaire pour les charbon pleins, ou annulaire pour les charbons à mèche. Le vide ménagé dans le charbon pour y loger la mèche est ordinairement circulaire; on lui donne quelquefois, pour augmenter l'adhérence de la mèche, une forme étoilée : le plus grand défaut que l'on puisse rencontrer dans un charbon est en effet la chute par fragment de la mèche en dehors de la combustion régulière.

L'orifice des ajutages est toujours prévu un peu supérieur aux sections que l'on désire, les charbons subissant toujours un certain retrait à la cuisson; ce retrait est d'autant plus considérable que la proportion de matières volatiles dans le mélange est plus grande.

L'opération de la cuisson, qui suit les précédentes, est la plus importante; elle doit se faire avec une grande lenteur et une élévation très progressive de la température; les fours employés sont des espèces de fours à récupération, où les gaz les plus chauds passent d'abord sur les charbons dont la cuisson est la plus avancée, puis sur d'autres, de moins en moins cuits, disposés dans des chambres successives. Les fours employés sont continus; c'est-à-dire permettent, par des jeux de valves, de laisser refroidir et d'extraire les charbons terminés sans arrêter l'opération.

L'opération qui consiste à munir les charbons creux de leur mèche est également fort importante : cette mèche est formée en proportion convenable de silicate de potasse et de noir de fumée; le silicate de soude doit être évité, comme donnant une teinte

IMPRIMERIE NATIONALE.

jaune à la lumière de l'arc; le silicate de potasse joue ici le rôle d'un sel quelconque destiné à augmenter la conductibilité de l'arc; mais il a l'avantage de faciliter, par sa consistance sirupeuse, l'opération qui consiste à introduire la pâte dans le tube cylindrique ménagé à cet effet; la composition de cette pâte est fort importante : une trop grande proportion de silicate donne une pâte qui, en séchant, se retire et donne une mèche composée de fragments qui peuvent tomber pendant le fonctionnement; une trop forte proportion de carbone donne une pâte trop peu plastique qui peut s'arrêter en route pendant l'opération de la mise en place de la mèche; d'ailleurs, cette composition doit dépendre du régime de fonctionnement, et en particulier de la tension à laquelle doivent fonctionner les charbons. La pâte, ainsi préparée, est d'abord rendue absolument homogène par un malaxage prolongé dans des appareils spéciaux, puis introduite sous pression, au moyen d'une presse à vis, dans le cylindre central des charbons à âme.

Il y avait, à l'Exposition, relativemen peu de fabricants exposant spécialement des charbons pour arc; parmi les produits européens, nous avons remarqué les expositions suivantes : *Compagnie française de charbons pour l'électricité* (France); *Berne* (France); *Fabius Henrion* (France); *Siemens frères* (Allemagne); et parmi les produits américains, les expositions de la *National Carbon Company* et de la *United States Carbon Company,* toutes deux de Cleveland.

Nous avons pu expérimenter un certain nombre de ces charbons; mais, en outre, nous avons eu entre les mains quelques autres marques ne figurant pas dans l'énumération précédente; en effet, les constructeurs de lampes à arc qui avaient bien voulu nous confier leurs lampes les avaient munies de charbons de leur choix (à la fois comme marque et comme diamètre), et, après avoir étudié les lampes ainsi munies de ces charbons, nous avons ensuite soumis les charbons eux-mêmes à une étude photométrique spéciale; on trouvera les principaux résultats de cette étude dans le ch. VIII. Parmi ces charbons, qui ne figuraient pas explicitement à l'Exposition, et que nous avons expérimentés, nous citerons les marques suivantes : *Conrady, Electra, Jandus, Schiff.*

Dans les études qui vont suivre, nous désignerons les charbons expérimentés par les lettres A_1, A_2, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L. Les charbons A_1, A_2, B sont du même fabricant; de même les charbons D et E d'une part, F et G de l'autre. Les charbons A_1 et A_2 sont de la même marque, mais le charbon A_2 est spécialement réservé aux arcs de basse tension. Les charbons K et L sont des charbons homogènes de longue durée pour lampes en vase clos.

CHAPITRE III.

ETUDE PHOTOMÉTRIQUE SYSTÉMATIQUE D'UNE PAIRE DE CHARBONS. INFLUENCE DES DIAMÈTRES.

I. ÉTUDE PHOTOMÉTRIQUE SYSTÉMATIQUE D'UNE PAIRE DE CHARBONS[1].

Les charbons à étudier étaient montés dans une lampe réglable à la main; l'organe de transmission comportait une grande réduction de mouvement, afin de permettre un réglage précis de l'écart des charbons. L'intensité du courant était mesurée au moyen d'un ampèremètre Chauvin et Arnoux; la différence de potentiel, prise au moyen de deux pinces serrées sur les charbons à 5 centimètres environ de l'arc, était lue sur un voltmètre thermique Richard. Le courant était fourni par une batterie d'accumulateurs à une tension toujours très supérieure à celle qui était nécessaire, les résistances de réglage intercalées donnant plus de stabilité au régime.

L'arc était établi au centre du lumenmètre de M. Blondel. Un photomètre Lummer et Brodhun permettait de comparer l'éclairement produit par la tache lumineuse reçue par l'écran diffuseur avec celui d'une lampe à incandescence étalonnée mobile sur un chariot roulant le long d'une règle graduée.

Le lumenmètre avait été taré au moyen de deux expériences préliminaires. On avait déterminé la courbe de répartition lumineuse et, par suite, le flux donné par deux charbons dans des conditions bien connues. Le même régime était rétabli ensuite entre les mêmes charbons placés dans le lumenmètre. Il était facile d'en déduire la constante de tarage des appareils et de toute l'installation. Deux expériences ont été faites de cette façon dans des conditions différentes. On a pris la moyenne des résultats obtenus différant entre eux de 6 p. 100.

Les charbons étaient centrés, puis l'arc était allumé et réglé au régime à étudier. Après l'avoir laissé brûler quelques minutes pour donner aux charbons le temps de se tailler et de prendre leur forme de régime, on effectuait dix lectures photométriques. Avec ces données, on calculait la puissance dépensée dans l'arc et le flux lumineux.

On mesurait l'écart de la manière suivante : une lentille fixée dans l'enveloppe sphérique du lumenmètre donnait sur un écran une image de l'arc avec un grossissement de 4.5. On mesurait au millimètre l'écart entre les projections des charbons et on en déduisait la longueur correspondante. Il faut remarquer que cette distance n'est pas la longueur vraie de l'arc par suite de la forme concave du cratère du charbon positif. Les écarts

[1] Cette étude porte sur une marque de charbons que nous désignerons par la lettre D.

donnés ne sont que les distances entre les contours apparents des charbons projetés sur un plan vertical.

Pour certains régimes, caractéristiques par la forme des charbons, la projection de l'arc a été photographiée.

Flux lumineux. — *Étude du flux lumineux produit par une paire de charbons.* — On a cherché à déterminer la variation du flux lumineux suivant le régime de l'arc, et pour cela on a fait varier l'intensité du courant et la différence de potentiel. Les limites choisies étaient étendues et comprenaient tous les régimes adoptés ordinairement en pratique.

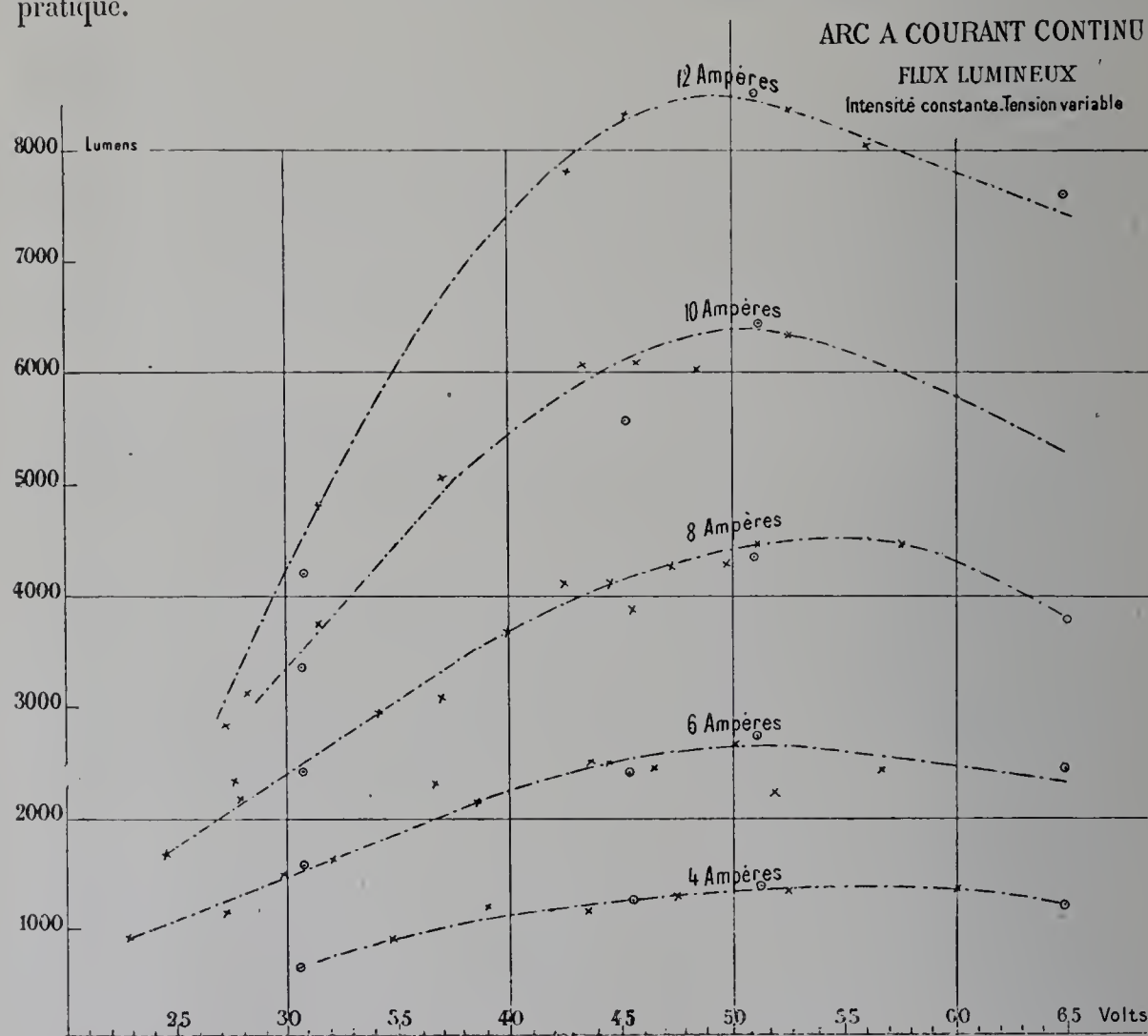


Fig. 13.

On a choisi, pour cette étude, les charbons de la marque D et les diamètres : positif à mèche 12 millimètres, négatif homogène 8 millimètres, qui sont très employés pour les arcs de 6 à 8 ampères.

On a fait varier le courant de 4 à 12 ampères et la différence de potentiel aux bornes de l'arc de 30 à 55 volts.

1° *Étude du flux lumineux d'un arc à intensité constante et à tension variable.* — L'intensité du courant étant maintenue constante à la valeur de 4 ampères, on a mesuré le flux lumineux correspondant à des différences de potentiel croissantes. Les résultats obtenus portés dans le tableau ci-dessous ont permis de représenter le phénomène graphiquement en portant les tensions suivant l'axe des x et les flux lumineux en ordonnées (courbe, fig. 13).

Le flux lumineux pour des tensions croissantes augmente d'abord rapidement, puis plus lentement; il passe par un maximum vers 50 volts et décroît ensuite légèrement.

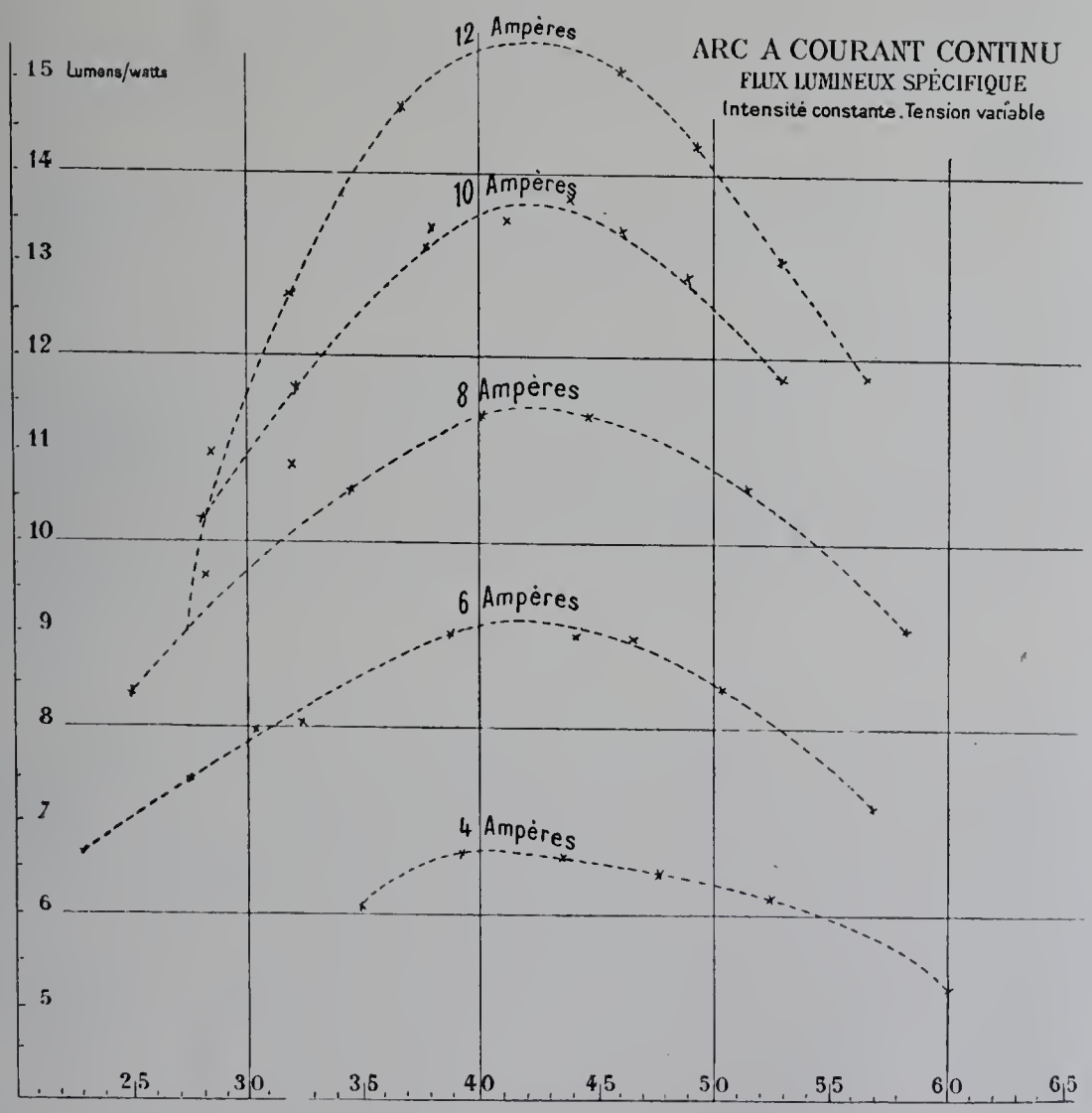


Fig. 14.

Ces expériences, reprises successivement pour des intensités de 4, 6, 8, 10 et 12 ampères, sont résumées par les courbes de la figure 13. Ces courbes sont nettement distinctes les unes des autres, l'accroissement du courant amenant, à même différence de potentiel, une augmentation du flux lumineux; mais elles ont toutes la même forme générale et le maximum du flux correspond à une même valeur de la tension: 50 volts environ.

Au lieu d'étudier les flux, on peut étudier aussi les flux spécifiques, rapport du flux produit à la puissance dépensée, qui permettent de comparer par un seul nombre l'utilisation plus ou moins bonne de l'énergie.

Les courbes tracées de cette manière ont la même allure générale que celle des flux, mais elles passent par leur maximum pour une tension de 41 volts environ. Là encore, les courbes sont distinctes, l'accroissement du courant amenant, à tension égale, une amélioration du flux spécifique (fig. 14).

2° *Étude du flux lumineux d'un arc à tension constante et à intensité variable.* — On a choisi un certain nombre de tensions, 30, 45, 50 et 65 volts, et, pour chacune d'entre elles, on a mesuré le flux lumineux pour des intensités variant de 4 à 12 ampères au moins. Les courbes obtenues ainsi vérifiaient certains points des courbes de la première série d'expériences.

Les courbes des flux (fig. 15) vont franchement en croissant avec l'intensité et tournent leur concavité du côté de l'axe des flux. La courbe qui, pour les mêmes intensités, donne les plus grandes ordonnées est celle qui correspond à 51 volts, ce qui vérifie les essais à intensité constante.

On peut tracer de même les courbes du flux spécifique à tension constante et à intensité variable. Dans les limites des expériences, le rendement a été en croissant en même temps que l'intensité; mais la courbe qui monte rapidement au début, s'infléchit et présente sa concavité du côté de l'axe des intensités.

Si donc on cherchait à représenter cette variation par une formule de la forme

$$\text{Flux} = ki^{\alpha},$$

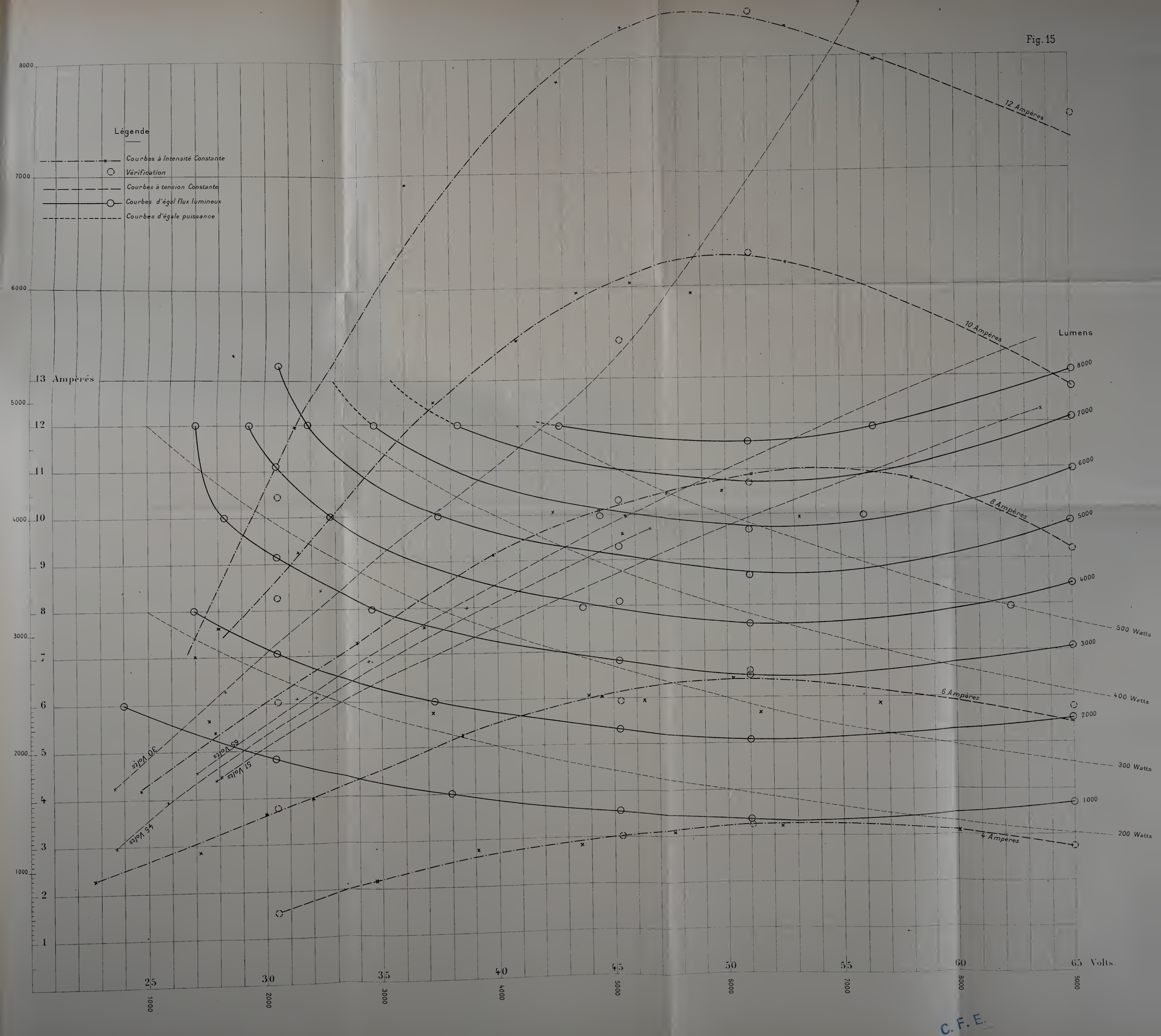
on devrait trouver pour la valeur de α un nombre intermédiaire entre 1 et 2.

3° *Détermination du flux lumineux pour un régime intermédiaire.* — On pourrait, par interpolation entre les différentes courbes données ci-dessus, déterminer le flux lumineux et le flux spécifique, pour un régime donné non étudié; mais, afin de faciliter cette recherche, on a fait la transformation graphique suivante:

Sur les deux axes de coordonnées pris dans le plan de la figure, on a porté, à des échelles appropriées, les tensions aux bornes de l'arc (axe des x) et les intensités (axe des y). Chaque régime de l'arc sera donc représenté par un point du plan, défini par deux coordonnées. On a supposé que des longueurs proportionnelles au flux lumineux étaient portées suivant un troisième axe perpendiculaire au plan de la figure. En portant donc pour chaque régime de l'arc, c'est-à-dire pour chaque point du plan, sur une perpendiculaire à ce plan, une longueur proportionnelle au flux lumineux, on obtiendrait une surface gauche qui serait la représentation continue du phénomène étudié.

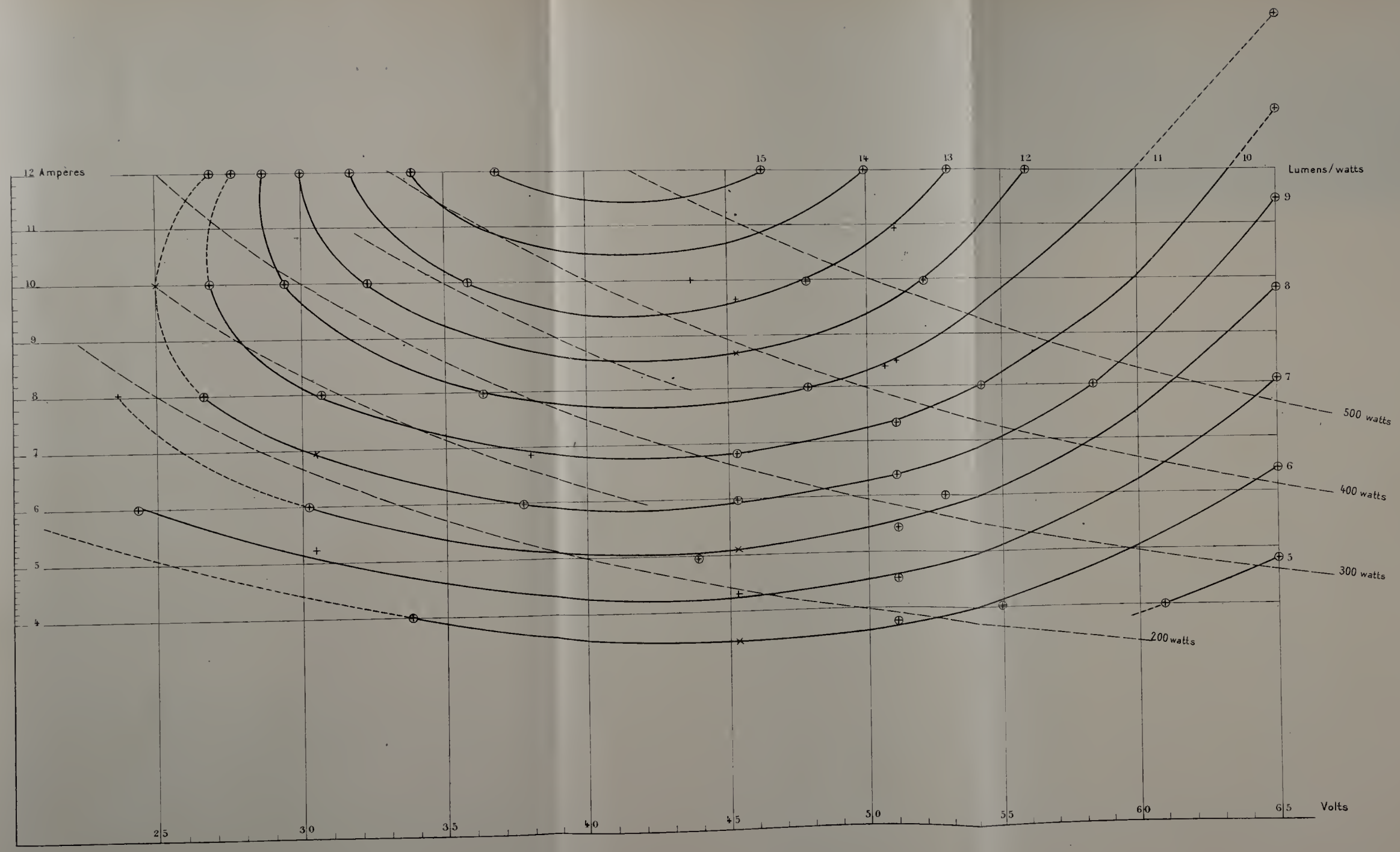
Nous connaissons cette surface par les courbes déjà tracées; ce sont les sections par des plans perpendiculaires au plan de la figure, mais parallèles les uns à l'axe des tensions (intensité constante), les autres à l'axe des intensités (tension constante). En cher-

Fig. 15


Légende
Courbes à Intensité Constante
Vérification
Courbes à tension Constante
Courbes d'égal flux lumineux
Courbes d'égale puissance
12 Ampères
10 Ampères
8 Ampères
6 Ampères
4 Ampères
13 Ampères
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
30 Volts
35 Volts
45 Volts
Lumens
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
500 Watts
400 Watts
300 Watts
200 Watts
25
30
35
40
45
50
55
60
65 Volts
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000

C. F. E.

Fig. 16


12 Ampères
11
10
9
8
7
6
5
4
Lumens/watts
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
500 watts
400 watts
300 watts
200 watts
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
Volts

C. F. E.

chant les sections de la surface par des plans parallèles au plan de la figure, on obtient les courbes de flux lumineux constant, et en projetant ces lignes sur le plan, on a le lieu géométrique des points correspondant à des régimes de l'arc donnant le même flux. Cette représentation est analogue à celle d'un plan topographique, le flux remplaçant l'altitude ou la cote.

Les courbes ont été tracées de 1000 en 1000 lumens; elles sont assez rapprochées pour qu'on puisse facilement interpoler dans leur intervalle.

Pour trouver le flux correspondant à un certain régime, il suffit donc de chercher le point représentatif et de lire la cote d'après la position des lignes de niveau.

On a tracé également, sur ce même graphique, la courbe des points représentant une même dépense de puissance dans l'arc. Il est intéressant d'étudier la position relative de ces deux séries de courbes.

Les courbes d'égal flux spécifique ont été tracées de la même manière (fig. 16). Les lignes ont même apparence générale, mais leur courbure est plus accentuée; le rendement maximum est reporté de 50 à 40 volts.

Les lignes de puissance égale montrent qu'à puissance dépensée constante le flux spécifique maximum est obtenu pour une tension variant de 28 volts (puissance : 200 watts) à 36 volts (puissance : 400 watts).

D'ailleurs, dans la figure 17, on a tracé les variations du flux spécifique avec la tension, la puissance dépensée restant constante. Ces courbes résultent, non d'expériences directes et distinctes, mais des relevés et des mesures faites sur le graphique même. Elles passent par un maximum et décroissent régulièrement après. Le régime correspondant au maximum est très voisin de la limite inférieure des tensions dans cette étude.

Consommation de charbon. — Dans les lampes, la course des porte-charbons est déterminée et, par suite, la longueur des charbons. Il y a donc, dans chaque cas particulier, des conditions à remplir entre la durée d'éclairage nécessaire, l'usure des charbons et le régime de l'arc.

Détermination de l'usure. — On s'est servi de deux lampes à arc différentielles montées en tension et alimentées à la tension de 110 volts. Les lampes ayant été réglées au régime voulu, on laissait les charbons se tailler, puis on mesurait la longueur de chaque crayon et on prenait son poids. On faisait fonctionner la lampe un temps déterminé, pendant lequel on relevait, à différentes reprises, le régime moyen, puis la longueur et le poids étaient repris de nouveau.

Les 2 lampes étaient réglées au même régime, afin de pouvoir contrôler les résultats.

Les usures, par heure en longueur et en poids, déduites de ces données suivent les mêmes variations; on a donc choisi, pour l'étude qui va suivre, l'usure en longueur comme étant plus utile et plus facilement comparable.

1° *Étude de l'usure par heure des deux charbons. Arc à intensité constante et à tension variable.* — On trouvera ci-après les résultats obtenus pour l'intensité de 8 ampères.

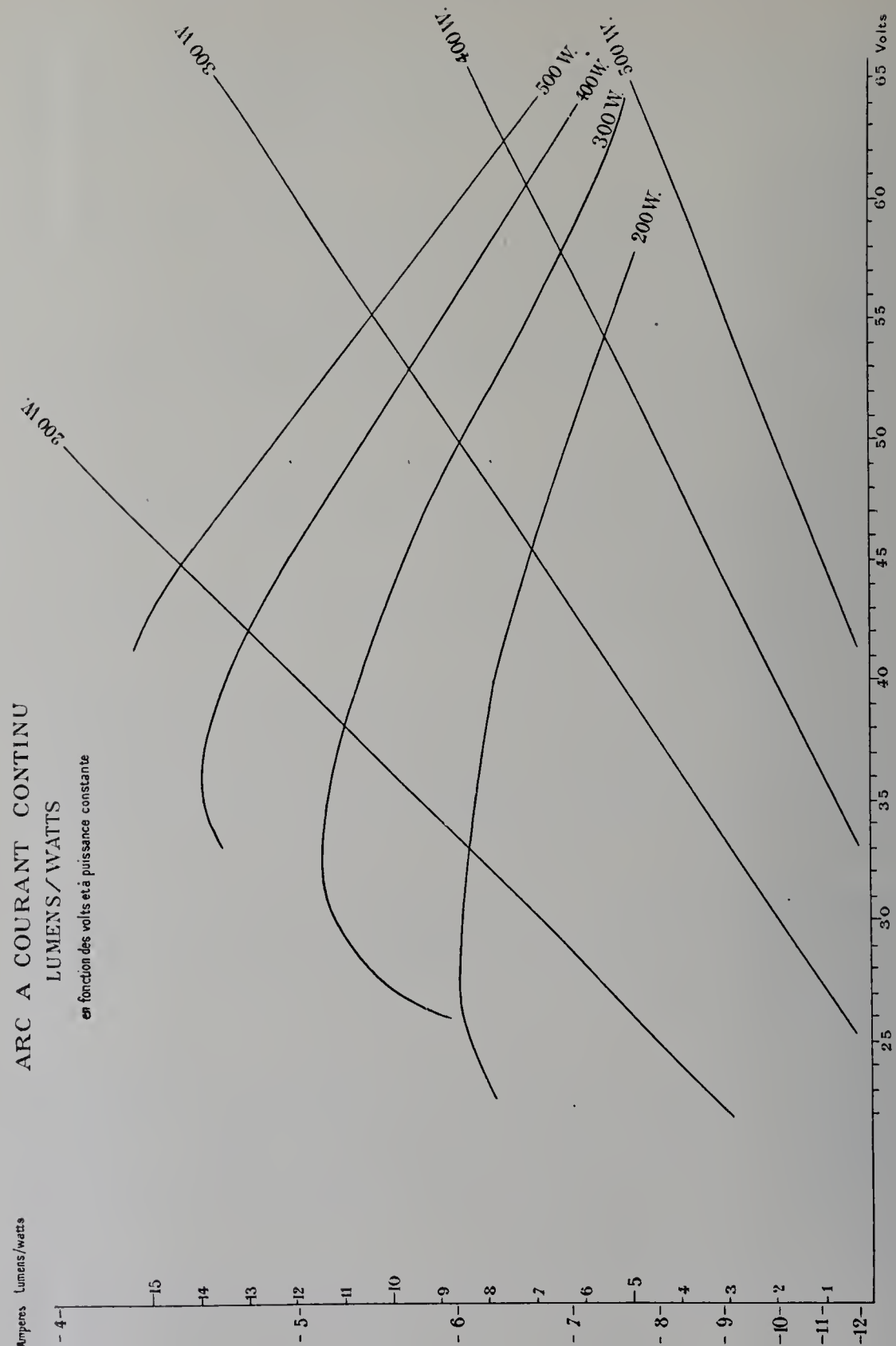


Fig. 17.

Charbon positif. — De 30 à 45 volts, l'usure reste la même (22 millimètres par heure); à partir de 45 volts, la consommation du positif croît de plus en plus vite (28 millimètres pour 53 volts.

Charbon négatif. — L'usure est très faible aux basses tensions (14 millimètres à 30

volts); l'accroissement est rapide et régulier jusque vers 45 volts, puis se ralentit ensuite (32 millimètres à 53 volts). La courbe (fig. 18) montre ces variations. La consommation en longueur est la même pour les deux charbons pour 40 volts; il est possible que les deux courbes se coupent de nouveau vers 55 volts, mais l'expérience n'a pas été faite.

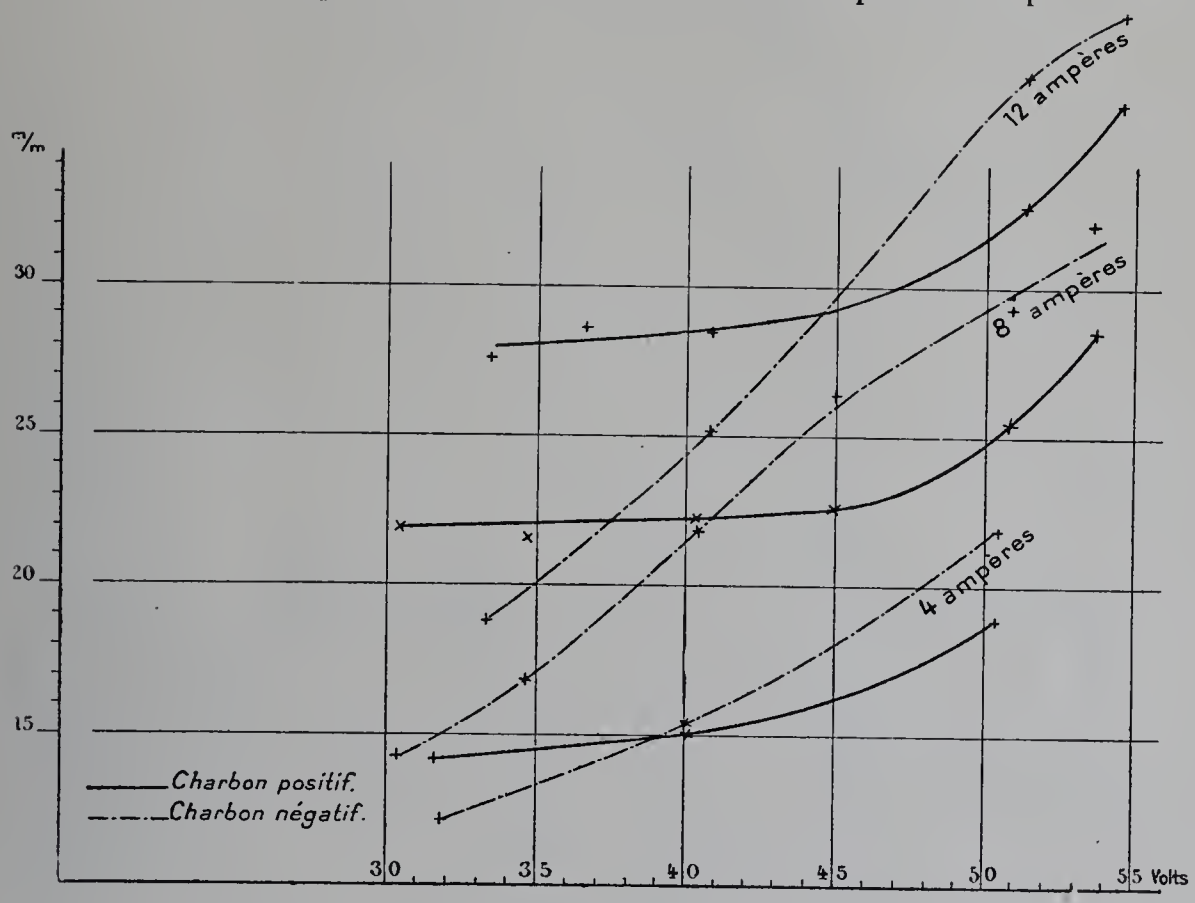


Fig. 18.

2° *Étude de l'usure par heure des deux charbons. Arc à différence de potentiel constante et à intensité variable.* — Les expériences dont on trouvera plus loin le résultat ont été faites à la tension de 40 volts.

Charbon positif. — L'usure croît régulièrement et presque proportionnellement depuis 15 millimètres pour 4 ampères jusqu'à 28 pour 12 ampères. Cependant la courbe montre une légère concavité vers l'axe des ampères.

Charbon négatif. — La consommation croît régulièrement de 4 à 8 ampères, en restant égale à celle du charbon positif; à partir de 8 ampères, l'accroissement diminue et la courbe devient nettement inférieure à celle du positif. Pour 12 ampères, 25 millimètres au lieu de 28.

Détermination de l'usure des charbons pour les différents régimes de l'arc. — L'usure des charbons ayant été mesurée pour différents régimes, on a pu déterminer les courbes analogues à celles qui viennent d'être citées, pour 4 et 12 ampères d'une part, et pour 34 et 50 volts de l'autre. Tous ces résultats ont été réunis sur un seul graphique et l'on a tracé sur le plan, comme pour le flux lumineux, les courbes d'égale usure (fig. 19).

Les courbes correspondant au positif et au négatif n'ont pas du tout la même allure.

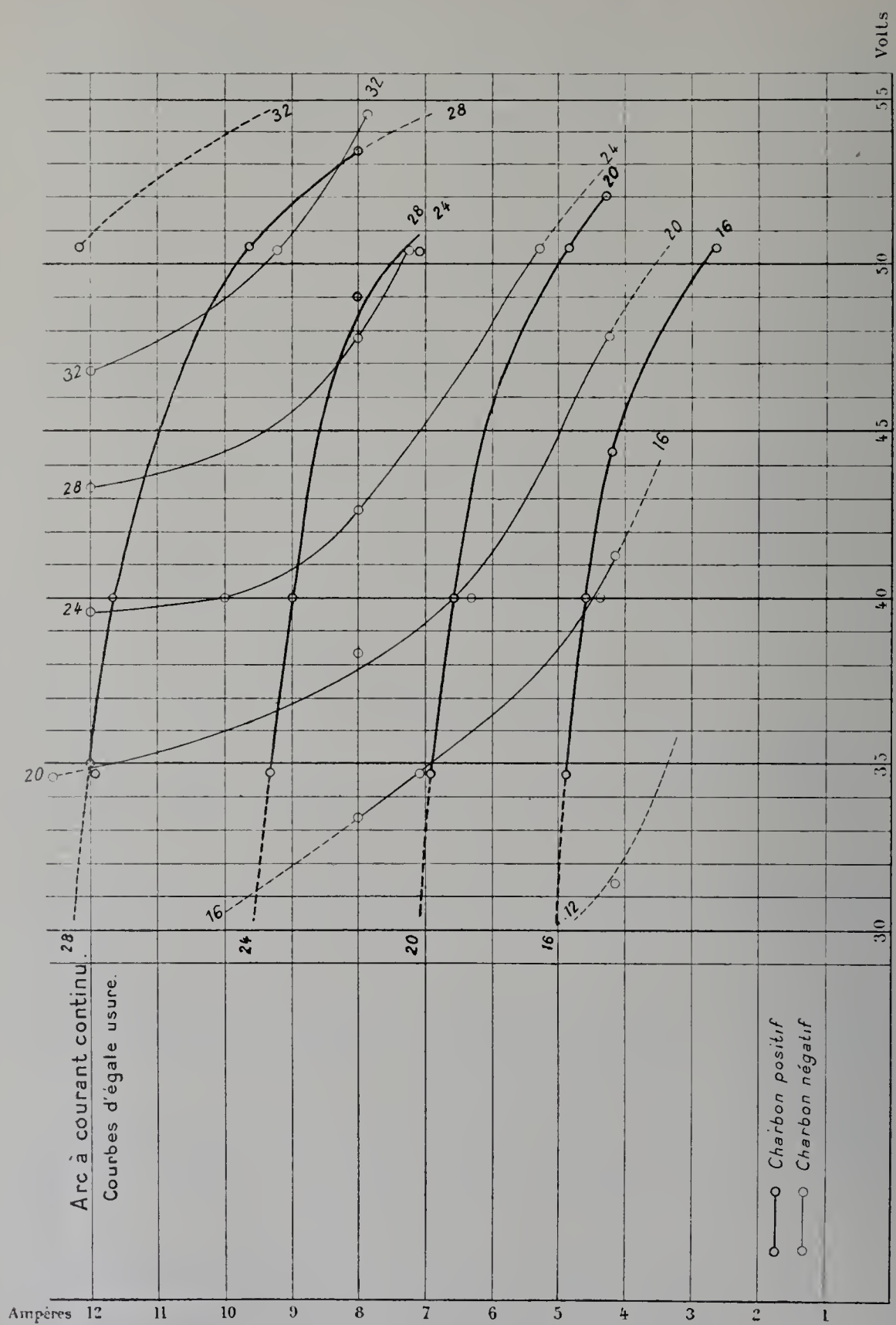


Fig. 19.

La consommation des deux charbons est la même pour les intensités de 4 à 9 ampères à la tension de 40 volts environ. Lorsque l'intensité augmente au delà de cette limite, la tension croît aussi (pour 11 ampères, 44 volts environ).

Tableau I.

Charbons D..... { Positif à âme..... 12mm
Négatif homogène..... 8

Intensité constante..... 4 ampères.
Tension variable.....

DIFFÉRENCE DE POTENTIEL.	INTENSITÉ.	PUISSANCE.	FLUX TOTAL.	FLUX SPÉCIFIQUE.	ÉCART APPARENT.
—	—	—	—	—	—
volts.	ampères.	watts.	lumens.	lumens/watts	millim.
34.7	4	138.8	850	6.15	//
39.1	//	156.4	1110	6 7	//
43.5	//	174	1125	6 7	//
47.6	//	190.4	1240	6.5	//
51.3	//	209.2	1280	6.2	//
60.0	//	240	1245	5.2	//

Tableau II.

Charbons D..... { Positif à âme..... 12mm
Négatif homogène..... 8

Intensité constante..... 6 ampères.
Tension variable.....

DIFFÉRENCE DE POTENTIEL.	INTENSITÉ.	PUISSANCE.	FLUX TOTAL.	FLUX SPÉCIFIQUE.	ÉCART APPARENT.
—	—	—	—	—	—
volts.	ampères.	watts.	lumens.	lumens/watts	millim.
22.75	6.05	137.5	915	6.65	0
27.2	//	164.5	1135	7.5	0
30	//	181.5	1450	8	0
32	//	193.5	1580	8.2	0.6
38.5	//	232.5	2090	9.05	1.8
43.9	//	266.4	2430	9	1 4
44.5	//	269.4	2410	8.95	2.7
50.25	//	303.8	2560	8.5	3.1
56.6	//	342.6	2350	7.2	5.7

Tableau III.

Charbons D..... { Positif à âme..... 12mm
Négatif homogène..... 8

Intensité constante..... 8 ampères.
Tension variable.....

DIFFÉRENCE DE POTENTIEL.	INTENSITÉ.	PUISSANCE.	FLUX TOTAL.	FLUX SPÉCIFIQUE.	ÉCART APPARENT.
—	—	—	—	—	—
volts.	ampères.	watts.	lumens.	lumens/watts	millim.
24.7	8.05	198.7	1670	8.45	//
27.9	//	224.2	2150	9.6	0.2
33.9	//	273	2900	10.6	1.1
39.8	//	321	3660	11.4	1.5
44.4	//	357	4050	11.35	2.7
47.4	//	381.5	4200	11	3.5
51.1	//	412	4370	10.6	4
58	//	475	4330	9 1	7.4

Tableau IV.

Charbons D..... { Positif à âme..... 12mm
Négatif homogène..... 8

Intensité constante..... 10 ampères.
Tension variable.....

DIFFÉRENCE DE POTENTIEL.	INTENSITÉ.	PUISSANCE.	FLUX TOTAL.	FLUX SPÉCIFIQUE.	ÉCART APPARENT.
—	—	—	—	—	—
volts.	ampères.	watts.	lumens.	lumens/watts	millim.
28	10	280	3040	10.8	"
31.4	"	314	3690	11.75	0.6
37.2	"	372	5000	13.4	0.9
40.8	"	408	5550	13.6	1.8
43.5	"	435	5970	13.7	2.7
45.8	"	458	6050	13.2	3.6
48.5	"	485	5950 (?)	12.20	5.3
52.6	"	526	6220	11.8	6.2

Tableau V.

Charbons D..... { Positif à âme..... 12mm
Négatif homogène..... 8

Intensité constante..... 12 ampères.
Tension variable.....

DIFFÉRENCE DE POTENTIEL.	INTENSITÉ.	PUISSANCE.	FLUX TOTAL.	FLUX SPÉCIFIQUE.	ÉCART APPARENT.
—	—	—	—	—	—
volts.	ampères.	watts.	lumens.	lumens/watts	millim.
27	12	324	2800	8.6	"
31.3	"	376	4790	12.7	"
36	"	432	6200	16	"
42.7	"	512	7800	15.2	1.1
45.5	"	546	8270	15.1	2.8
49	"	588	8840	15	4.2
52.6	"	631	8275	13.1	5.8
56.4	"	677	7970	11.7	8.7

Tableau VI.

Charbons D..... { Positif à mèche..... 12mm
Négatif homogène..... 8

Différence de potentiel constante..... 45 volts.
Intensité variable.....

DIFFÉRENCE DE POTENTIEL.	INTENSITÉ.	PUISSANCE.	FLUX TOTAL.	FLUX SPÉCIFIQUE.	ÉCART APPARENT.
—	—	—	—	—	—
volts.	ampères.	watts.	lumens.	lumens/watts	millim.
45.3	3	136	730	5.4	1.3
"	3.9	178	1170	6.6	1.4
"	5	226	1810	8	1.8
"	6.1	276	2430	8.8	2.6
"	8	362	3730	10.3	3.1
"	9.7	440	5330	12.1	3.3

Tableau VII.

Charbons D..... { Positif à âme..... 12mm
Négatif homogène..... 8

Différence de potentiel constante.....
Intensité variable.. .....

Différence de potentiel. — volts.	Intensité. — ampères.	Puissance. — watts.	Flux total. — lumens.	Flux spécifique. — lumens/watts	Écart apparent. — millim.
30.5	4.2	129	715	5.5	//
//	6.3	191	1650	8.6	//
//	8.4	256	2470	9.6	//
//	10.2	310	3500	11.3	//
//	12	366	4180	11.4	//
51	4.4	225	1620	7.2	3.8
//	6.2	317	2780	8.8	4.2
//	9.9	503	6150	12.2	5
//	12.3	628	8730	13.9	5.4
65	4.5	294	1410	4.8	//
//	6.9	446	2890	6.5	//
//	10	650	5130	7.9	//
//	16.6	1075	13000	12.1	//

Tableau VIII.

Charbons D..... { Positif à âme..... 12mm
Négatif homogène..... 8

Consommation horaire des charbons.

Intensité constante..... 4, 8 et 12 ampères.
Tension variable.....

Régime de l'arc.			Consommation			
			en poids.		en longueur.	
Différences de potentiel. — volts.	Intensité. — ampères.	Puissance. — watts.	Positif. — grammes.	Négatif. — grammes.	Positif. — millim.	Négatif. — millim.
31.8	4.2	133.5	2.25	0.9	14.3	12.2
40	4.2	168	2.53	1.13	15.1	15.4
50.4	4.2	211	3.12	1.71	18.8	21.8
30.4	7.95	242	3.67	1.15	22	14.3
34.7	7.95	276	3.52	1.40	21.6	17
40.3	7.75	313	3.64	1.74	22.1	21.6
45	7.75	348	3.86	2.01	22.2	26.1
50.9	7.75	394	4.25	2.34	25.1	29.2
53.6	7.8	418	//	//	28	31.8
33.3	12	400	4.66	1.55	27.7	19.1
36.5	12	438	4.92	1.57	28.5	20.4
40.75	12	489	//	//	28.5	25.2
51.2	12	615	//	//	32.6	37
54.5	12	654	//	//	36	39

Tableau IX.

Charbons D..... (Positif à âme..... 12^{mm}
(Négatif homogène..... 8

Consommation horaire des charbons.

Tension constante..... 40 volts.
Intensité variable.....

Régime de l'arc.			Consommation			
			en poids.		en longueur.	
différences de potentiel.	intensité.	puissance.	Positif.	Négatif.	Positif.	Négatif.
—	—	—	—	—	—	—
volts.	ampères.	watts.	grammes.	grammes.	millim.	millim.
40	4.2	168	2.53	1.13	15.1	15.4
40	5.8	232	3.20	1.37	19.2	19.2
40.4	7.85	317	3.73	1.58	22	22.5
40 7	9.6	391	4.23	1 71	25.3	23.5
40.7	11.6	472	4.67	1.85	18	25.2

II. INFLUENCE DU DIAMÈTRE DES CHARBONS SUR LE RENDEMENT LUMINEUX DE L'ARC.

Dans la pratique, pour le choix des charbons les plus avantageux à employer, deux questions se présentent tout d'abord :

1° Pour une intensité donnée, quelle est l'influence du diamètre sur le flux lumineux et le rendement de l'arc ?

2° Deux arcs fonctionnant avec la même densité de courant dans le charbon positif, quel est le diamètre qui donne le rendement le plus élevé ?

1° A intensité contante et à même différence de potentiel, on constate que le flux lumineux produit est plus grand avec les charbons du diamètre le plus faible fonctionnant, par conséquent, avec la densité de courant la plus forte.

La différence de potentiel maintenue constante dans ces essais est celle qui donne le maximum du flux spécifique.

Les comparaisons ont porté sur les charbons que nous désignerons de la manière suivante :

1° Charbons D, diamètres respectifs : A12/H8 et A16/H10;

2° Charbons G, diamètres : A13/H9 et A17/H12;

3° Charbons A, diamètres: A13/H8 et A17/H11.

On peut voir dans le tableau suivant que, pour un accroissement du diamètre de 30 à 33 p. 100, le flux spécifique diminue de 10 à 20 p. 100, et cela pour les trois sortes de charbons essayés.

On aura donc tout avantage, pour un arc d'intensité donnée, à employer le diamètre le plus faible compatible avec l'usure des crayons que l'on peut admettre sans inconvénient.

2° A densité de courant égale, on trouve que le rendement lumineux de l'arc est plus grand avec les diamètres de charbons les plus gros, c'est-à-dire avec la puissance totale dépensée la plus forte.

Les diamètres des charbons sont en général associés deux à deux pour des considérations d'usure, à peu près de la même manière par les différents constructeurs. Les densités de courant n'ont été calculées que pour les charbons positifs. On a choisi comme unité l'ampère par centimètre carré.

Les résultats suivants se rapportent aux trois sortes de charbons énumérées ci-dessus. Les tableaux et les courbes (fig. 20) qu'on trouvera plus bas permettent d'établir, en particulier, les conclusions suivantes :

1° L'avantage obtenu par l'emploi d'un diamètre plus fort diminue quand la densité du courant augmente.

Avec les charbons D, par exemple, pour une densité de 4 ampères par centimètre carré, les charbons 16/10 donnent un flux spécifique de 42 p. 100 supérieur à celui fourni par les charbons de 12/8. Pour une densité de 8, l'accroissement n'est plus que de 18 p. 100.

On peut remarquer que, dans les conditions des expériences, la différence des flux spécifiques donnés par les deux paires de crayons reste en valeur absolue à peu près constante, quelle que soit la densité. La différence d'origine des charbons ne semble pas influer sur la valeur de cet accroissement.

Pour les densités de courant habituellement employées en pratique (6 à 7 ampères par centimètre carré), l'augmentation de flux spécifique est de 20 à 30 p. 100 pour un accroissement de diamètre de 30 à 33 p. 100 et un accroissement de section et, par suite, de puissance de 70 à 75 p. 100 environ.

Pour obtenir un flux lumineux donné dans les meilleures conditions de rendement, on a donc avantage à diminuer le nombre des foyers lumineux autant que le permet l'étude de la répartition lumineuse et à augmenter la puissance de chacun d'eux.

INFLUENCE DES DIAMÈTRES À INTENSITÉ ÉGALE.

VOLTS.	AMPÈRES.	FLUX SPÉCIFIQUE A.	VOLTS.	AMPÈRES.	FLUX SPÉCIFIQUE B.	RAPPORT $\frac{B}{A}$
			CHARBONS D.			
Diamètres : A12/H8.			Diamètres : A16/H10.			
41	6	9.15	41.5	6	8.8	0.96
"	"	"	"	7	9.8	"
"	8	11.5	"	"	"	"
"	10	13.7	"	10	11.85	0.865
"	12	15.5	"	11.8	12.29	0.832

INFLUENCE DES DIAMÈTRES À INTENSITÉ ÉGALE. (Suite.)

VOLTS.	AMPÈRES.	FLUX SPÉCIFIQUE A.	VOLTS.	AMPÈRES.	FLUX SPÉCIFIQUE B.	RAPPORT $\frac{B}{A}$.
Charbons G.						
Diamètres : A13/H9.			Diamètres : A17/H12.			
45	8	12.65	44.5	8	11	0.87
41.5	10	14	44	10	12.3	0.88
"	11.8	15.3	44.5	11.8	13.2	0.864
"	15	17.1	"	15.1	15.9	"
Charbons A_1.						
Diamètres : A13/H8.			Diamètres : A17/H11.			
41.5	7	11.2	43.4	7	10.2	0.91
42.5	8	13.25	"	8	10.9	0.823
41.5	10.2	15.6	"	9	11.9	"

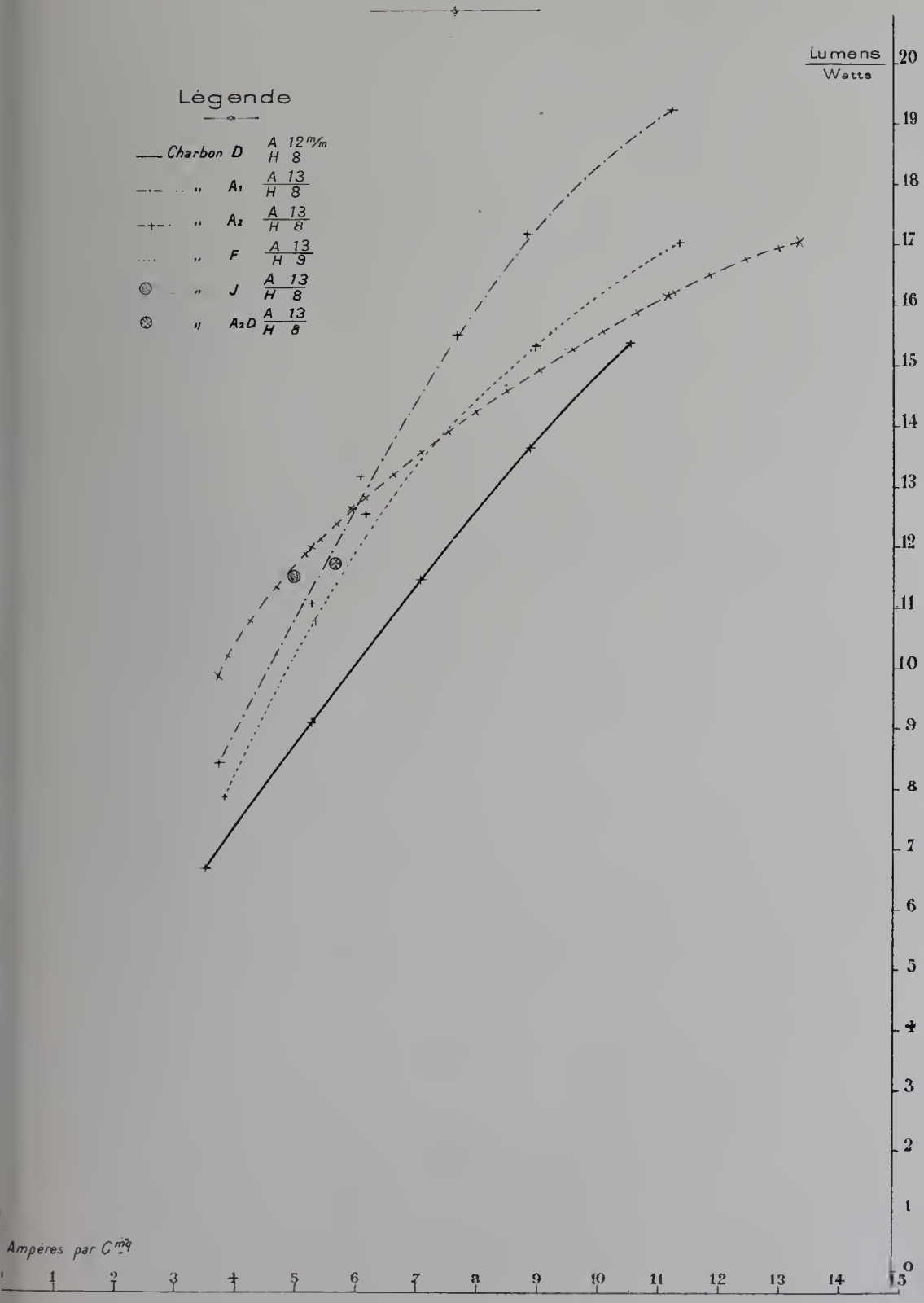
INFLUENCE DES DIAMÈTRES À DENSITÉ ÉGALE.

VOLTS.	AMPÈRES.	DENSITÉ.	FLUX SPÉCIFIQUE A.	VOLTS.	AMPÈRES.	DENSITÉ.	FLUX SPÉCIFIQUE B.	RAPPORT $\frac{B}{A}$
Charbons D.								
Diamètres : A12/H8.				Diamètres : A16/H10.				
41	4.55	4	7.3	41.5	8	4	10.4	1.42
"	5.65	5	8.7	"	10	5	11.9	1.37
"	6.8	6	10	"	12	6	13	1.30
"	9.05	8	12.7	"	16	8	15	1.18
"	11.3	10	14.9	"	"	10	"	"
Charbons G.								
Diamètres : A13/H9.				Diamètres : A17/H12.				
41.5	5.3	4	8.2	44.5	9.1	4	11.7	1.42
"	6.64	5	10.3	"	11.35	5	13.2	1.28
"	7.95	6	11.9	"	13.6	6	14.8	1.24
"	10.6	8	14.5	"	18.2	8	18	1.24
"	13.27	10	16.2	"	22.7	10	19.5	1.20
Charbons A_1.								
Diamètres : A13/H8.				Diamètres : A17/H11.				
41.5	"	"	"	43.4	6.8	3	10.2	"
"	5.3	4	9	"	9.1	4	11.9	1.32

Fig. 20

COURBES DES FLUX SPECIFIQUES DES CHARBONS $\frac{A\ 12\text{-}13}{H\ 8}$

EN FONCTION DE LA DENSITÉ DANS LE CHARBON POSITIF



C. F. E.

CHAPITRE IV.

COMPARAISON DES CHARBONS DE PROVENANCES DIFFÉRENTES.

L'influence du diamètre des charbons sur le flux lumineux, à intensité égale ou à densité de courant égale, n'ayant pas été établie d'une façon complète dans ce qui précède, il est plus sûr, pour comparer des charbons d'origines différentes, de se borner à comparer des crayons de même diamètre. Parmi les expériences qui ont été faites, on a choisi, pour établir la comparaison, des régimes de l'arc tels que les densités de courant fussent égales. La tension qui a été prise pour chaque sorte de charbon est celle qui donne le flux spécifique maximum quand la différence de potentiel varie, l'intensité restant constante.

La comparaison a donc lieu, pour le régime de fonctionnement le plus favorable, à chaque charbon, puisqu'on a constaté que cette tension ne varie pas avec la densité du courant.

Les densités du courant ont été calculées par rapport à la section des charbons positifs.

On a pu ainsi comparer 7 sortes de charbons divisés en deux séries.

Nous désignerons ces charbons de la manière suivante[1] :

1re série	Charbons D	A12/H8
	Charbons A_1	A13/H8
	Charbons A_2	A13/H8
	Charbons G	A13/H9
	Charbons J	A13/H8
2e série	Charbons I	A14/H10
	Charbons H	A14/H10
	Charbons G	A14/H9

Nous avons fait analyser un certain nombre de ces charbons[2].

Les résultats obtenus ont été les suivants :

PROPORTION DES CENDRES P. 100.

Désignation des charbons	ÂME.	ENVELOPPE.
A_1	10.7	0.62
A_2	9.8	1.46
D	8.3	1.17
F	8.6	0.40

[1] Les charbons A_1 et A_2 sont de la même marque, mais le charbon A_2 est destiné spécialement aux basses tensions.

[2] Ces analyses ont été faites par M. Etaix, docteur ès sciences, chef des travaux pratiques de chimie à la Faculté des sciences de Paris.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Ces nombres doivent être considérés comme approchés par excès; en effet, dans ces analyses, les silicates fondus enrobent le charbon et le mettent à l'abri de l'oxygène, de sorte qu'il est fort difficile d'avoir une combustion complète.

En ce qui concerne la nature des substances contenues dans les charbons, on s'est borné à une analyse qualitative. L'enveloppe est formée de carbone presque pur; les impuretés sont les suivantes :

Silice, fer, aluminium, métaux alcalino-terreux (traces), potassium, sodium.

En ce qui concerne l'âme, nous avons vu plus haut l'importance du silicate de potasse dans sa composition. L'analyse qualitative révèle, en outre, la présence du fer, de l'aluminium, du sodium et des traces d'alcalino-terreux; enfin on a relevé, dans l'âme du charbon D, la présence du calcium (traces), et dans celle du charbon F, celle du magnésium.

On trouvera dans les tableaux suivants les résultats des essais photométriques,

Pour les charbons de même provenance mais dont la tension la plus favorable de fonctionnement est notablement différente, on remarque qu'à faible densité de courant les crayons à basse tension donnent un flux spécifique plus élevé, par exemple, pour les charbons A_1 et A_2, et une densité de courant de 4 ampères par centimètre carré; on a :

Flux spécifique.	Charbon A_1	9
	Charbon A_2	10.4

A mesure que la densité augmente, la différence diminue et elle s'annule pour 6 ampères par centimètre carré. Au delà de cette valeur, les charbons ordinaires sont plus avantageux; pour une densité de 8 ampères par centimètre carré, on a :

Flux spécifique.	Charbon A_1	16
	Charbon A_2	14.3

Pour les charbons d'origines différentes mais dont la tension de fonctionnement est analogue, on voit que les flux spécifiques varient très notablement. La différence atteint 25 p. 100 entre certaines qualités. Cette différence paraît être indépendante de la densité du courant.

Les courbes de la figure 20 mettent bien ces résultats en évidence.

COMPARAISON DE CHARBONS DIFFÉRENTS DE MÊME DIAMÈTRE.
DENSITÉ DE COURANT ÉGALE.

1° Charbon A 12 ou 13/H 8.

Désignation du charbon	D	A2	A1	G	J
Nature	(ordinaire)	(B^sse tension)	(ordinaire)	(ordinaire)	(ordinaire)
Diamètre	A12/H8	A13/H8	A13/H9	A13/H9	A13/H8
Différence de potentiel aux charbons	41	36	41.5	41.5	41
	Flux spécifiques correspondants.				
Densité de courant dans le charbon positif. Ampères par centimètre carré. 4	7.3	10.4	9	8.2	//
5	8.7	11.7	10.8	10.3	//
6	10	12.7	12.7	11.9	11.6
8	12.7	14.3	16	14.5	//
10	14.9	15.6	18.3	16.2	//

2° Charbons A 14/H 10.

Désignation du charbon	I	H	G		
Nature	(ordinaire)	(h^te tension)	(ordinaire)		
Diamètre	A14/H10	A14/H10	A14/H10		
Différence de potentiel aux charbons	42.3	49	42		
	Flux spécifiques.				
Densité de courant dans le charbon positif. Ampères par centimètre carré. 5	11.1	//	12.1		
6	13	12.4	//		
8	15	//	//		
10	16.7	//	//		

CHAPITRE V.

LES LAMPES À ARC.

Les lampes à arc peuvent se classer à deux points de vue différents, soit au point de vue de la disposition cinématique de leurs organes mécaniques, soit au point de vue du montage de leurs organes électriques.

Au point de vue cinématique, nous distinguerons :

1° Les lampes à moteur ;

2° Les lampes à mouvement d'horlogerie et à déclenchement;

3° Les lampes à frein; et dans celles-ci, on pourrait même distinguer deux catégories suivant que le frein agit directement sur le porte-charbon, ou n'agit que par l'intermédiaire d'un mouvement d'horlogerie;

4° Les lampes équilibrées.

Au point de vue électrique, nous distinguerons :

1° Les lampes en série;
2° Les lampes en dérivation;
3° Les lampes différentielles.

Toutes ces catégories existaient déjà lors de l'Exposition de 1889. Nous aurons donc surtout à chercher dans quel sens semblent s'être portées les tendances des constructeurs.

Dispositions mécaniques. — Les lampes à moteur ont à peu près disparu, au moins comme lampes à courant continu : on ne les retrouve plus que dans les fortes lampes de projecteurs et de phares ; ces lampes étaient d'ailleurs excellentes, mais le prix relativement élevé du moteur à courant continu a dû y faire renoncer. Au contraire, dans le cas des courants alternatifs, la possibilité de réaliser des moteurs asynchrones, d'une simplicité extrême au moyen d'un simple disque métallique tournant entre les pôles d'un ou de deux électro-aimants, a fourni des solutions fort élégantes de la régulation de l'arc.

Les lampes à mouvement d'horlogerie et à déclenchement restent fort employées; elles ont une grande sûreté de fonctionnement, le poids du porte-charbon supérieur, qui est ordinairement moteur, peut être choisi assez grand pour produire un couple moteur capable de vaincre tous les frottements, sans sacrifier, d'autre part, sur la délicatesse de déclenchement du moulinet ou roue étoilée constituant le dernier mobile du mouvement d'horlogerie.

Les lampes à frein sont peut-être celles dont le réglage est le plus sensible : ce sont des appareils de précision que l'habileté des constructeurs a su transformer en appareils vraiment industriels ; elles conviennent bien aux éclairages parfaitement fixes et réguliers que l'on exige de plus en plus, au moins en Europe. Cependant nous retrouvons le principe des lampes à frein à l'autre bout de l'échelle, pour ainsi dire, c'est-à-dire dans les lampes en vase clos qui fonctionnent sans mécanisme et, grâce à la longueur de leur arc, peuvent se contenter d'un réglage relativement grossier; on conçoit en effet que, la fixité de la lumière dépendant non pas de la valeur absolue des variations de longueur de l'arc, mais du rapport de ces variations à la longueur totale, le réglage soit bien plus aisé dans les lampes à arc long que dans les lampes à arc court.

Enfin les lampes que nous appellerons équilibrées ne comportent aucun mécanisme : les deux charbons sont simplement équilibrés l'un en face de l'autre, et les solénoïdes de réglage ont simplement pour but de maintenir leur distance constante et indépendante de l'usure.

Quelle que soit la disposition adoptée, il faut prévoir, outre les petits mouvements de réglage en marche normale, un mouvement de recul important pour provoquer l'allumage; dans la plupart des types un peu anciens, ce mouvement de recul, une fois produit, n'intervient plus dans le fonctionnement; au contraire, dans un certain nombre de types modernes, le mouvement de recul n'est pas seulement utilisé pour l'allumage, mais il fournit encore un précieux concours pour le réglage. Dans toutes les bonnes

lampes, ces mouvements sont amortis par des pompes à air pour éviter les oscillations de la lumière.

Dispositions électriques. — Le montage en série des électro-aimants de réglage a été le premier employé. Il convenait bien au cas des lampes monophotes. Il a été à peu près abandonné lors de la généralisation des distributions en dérivation avec deux lampes sur 110 volts; on y revient aujourd'hui pour les lampes en vase clos qui se montent seules sur 110 volts en prenant environ 80 volts à l'arc. Le montage en série a l'inconvénient de donner des lampes devant fonctionner à une intensité déterminée, et de ne pouvoir changer cette intensité qu'en changeant l'électro de réglage; d'ailleurs, elles ne peuvent, comme on le sait, fonctionner dans une distribution en série.

Le montage en dérivation est le plus simple de tous, il présente des avantages pratiques très grands; en particulier, il permet une construction uniforme des lampes de toute intensité, puisque le réglage agit seulement sur la tension aux bornes; il en résulte que la même lampe pourra donner peu ou beaucoup de lumière par la simple manœuvre d'un rhéostat, ce qui est avantageux dans bien des cas. L'inconvénient principal de ce mode de réglage est que, le potentiel constant auquel fonctionne la lampe dépendant de la résistance de la bobine en dérivation, comme cette bobine s'échauffe et que sa résistance s'accroît avec la température, le régime de la lampe ne sera pas le même à l'allumage et en marche prolongée. Un certain nombre de constructeurs (Körting et Matthiessen) essaient de corriger cette cause d'irrégularité par un appareil de compensation convenablement réglé; mais une autre cause d'erreur qui reste sans correction est due à la variation de résistance des charbons à mesure qu'ils se consument: cette variation de résistance entraîne une variation corrélative dans la tension aux bornes de l'électro-aimant régulateur.

Montage des lampes à arc sur les circuits. — L'ancien mode d'alimentation appelé monophote (une seule lampe sur une seule machine) est complètement abandonné, sauf peut-être pour les phares et projecteurs; dans la plupart des cas, une seule machine (ou un groupe de machines) doit alimenter un certain nombre de lampes; dans le cas du courant continu, deux montages principaux peuvent être employés: le montage en série et le montage en dérivation. Du premier nous ne dirons rien, sinon qu'il continue à être très employé en Amérique. Quant à la distribution en dérivation, elle se fait, dans la grande majorité des cas, par deux lampes en série avec un rhéostat sous 110 volts. Tel était le système employé dès 1889. Depuis cette époque, deux systèmes nouveaux ont apparu: la distribution par trois lampes en série sans rhéostat sous 110 volts, qui exige des lampes marchant à voltage réduit; et, à un point de vue tout à fait opposé, l'emploi des lampes en vase clos à tension élevée (80 volts), se plaçant par unité avec un rhéostat sur 110 volts.

Dans le cas du courant alternatif, les deux modes de distribution en série et en dérivation peuvent être également employées; à propos du premier, nous rappellerons les intéressantes dispositions de M. Ferranti pour transformer une distribution à potentiel constant en distribution à intensité constante, et les appareils de la *General Elec-*

tric C° pour résoudre le même problème; quant aux secondes, nous signalerons seulement que les propriétés des courants alternatifs permet une variété de combinaisons beaucoup plus grande qu'avec le courant continu : c'est ainsi que, en premier lieu, les rhéostats des lampes ordinaires peuvent être remplacés (dans les limites où le tolèrent les stations centrales qui y trouvent une diminution de leur facteur de puissance) par des bobines de réaction; en second lieu, les propriétés de ces bobines ou des transformateurs permettent de réaliser un grand nombre de combinaisons pour allumer, sur une distribution à 110 volts, une, deux ou trois lampes en série sans perte d'énergie supplémentaire, ou avec une perte très petite. La maison Siemens et Halske exposait d'intéressantes dispositions de ce genre. La même maison mettait sous les yeux des visiteurs, des projections extrêmement pures des quatre espèces d'arc, bien tranchées, employées dans la pratique: arc alternatif, arc en vase clos, arc à l'air libre à tension normale, arc à l'air libre à basse tension.

Nous dirons, dans ce qui va suivre, quelques mots sur les deux principales nouveautés que nous signalons plus haut: 1° lampes à arc, sans rhéostat, sur réseau à potentiel constant; 2° lampes à arc en vases clos.

I. **Lampes en série sans rhéostat sur réseau à potentiel constant.** — La grande sûreté du fonctionnement des meilleures marques de lampes à arc connues jusqu'à ces dernières années provenait, en grande partie, de la présence d'une résistance inerte suffisante montée en série avec ces lampes; on sait que la disposition la plus employée consiste à monter en série, sur 110 volts, deux lampes absorbant chacune de 40 à 45 volts, avec une résistance inerte absorbant par conséquent de 30 à 25 volts; la plupart du temps même, les réseaux usuels maintenant entre leurs bornes une tension supérieure à 110 volts, la chute de potentiel dans le rhéostat en série est encore plus considérable.

Une telle disposition favorise évidemment la stabilité de l'arc; mais il est bon de considérer cette stabilité à deux points de vue différents: en premier lieu, ainsi que M. Blondel l'a montré autrefois, certaines conditions doivent être satisfaites pour que la stabilité soit assurée, *indépendamment de tout mécanisme;* en second lieu, il faudra considérer le rôle propre du mécanisme de réglage.

1° Considérons, pour plus de simplicité, un seul arc alimenté par un réseau à potentiel constant; soient R la résistance en série, i l'intensité du courant, E la tension de distribution. La tension disponible e' aux bornes de l'arc est évidemment

$$e' = E - Ri.$$

D'autre part, si nous admettons la formule simplifiée qui dans un arc relie la tension, l'intensité et la longueur, nous avons, en appelant e la différence de potentiel aux bornes de l'arc,

$$e = a + \frac{bl}{i}.$$

Pour que l'équilibre existe, il faut évidemment que l'on ait $e = e'$ ou

$$E - Ri = a + \frac{bl}{i}.$$

Mais cela ne suffit pas : pour que l'équilibre soit stable, il faut que si, pour une raison quelconque, l'intensité vient à augmenter d'une quantité très petite Δi, la différence de potentiel d'alimentation e' devienne plus faible que la différence de potentiel aux bornes e; en d'autres termes, il faut que la dérivée $\frac{d(e-e')}{di}$ soit positive; on en déduit immédiatement

$$R > \frac{bl}{i^2}.$$

Cette inégalité donne la condition à laquelle doit satisfaire la résistance de réglage pour que la stabilité soit assurée; on peut l'énoncer sous la forme suivante :

$$Ri > \frac{bl}{i}$$

ou, en langage ordinaire : pour que la stabilité soit assurée indépendamment de tout mécanisme, il faut que les volts perdus dans la résistance auxiliaire soient supérieurs aux volts perdus dans l'arc lui-même.

Et l'on conçoit facilement que la stabilité sera d'autant plus grande que la résistance R sera plus grande.

2° La résistance R, dont le rôle *absolu* est si important, a aussi un rôle *relatif* très utile pour améliorer le réglage des lampes à mécanisme, et en particulier des lampes en dérivation ; en effet, sur une distribution à potentiel constant, une variation donnée Δi du courant provoquera évidemment une variation de potentiel aux bornes de l'arc Δe d'autant plus grande que R sera plus grand; et comme la mise en action du mécanisme de réglage dépend précisément de ce Δe, la lampe réglera d'autant mieux que R sera plus grand.

De ces indications, il résulte que, chaque fois qu'on voudra une grande sûreté de fonctionnement, il faudra avoir recours à une résistance auxiliaire aussi grande que possible; mais à cette résistance correspond une certaine perte d'énergie qui, dans le cas cité plus haut, peut atteindre de 35 à 40 p. 100 de l'énergie disponible; cette perte, à première vue, paraît énorme : on doit la considérer comme une prime d'assurance payée en vue de la stabilité et de la régularité du fonctionnement.

On conçoit néanmoins qu'un certain nombre d'inventeurs aient été séduits par l'idée de supprimer cette perte et d'utiliser, dans les arcs, le tout ou du moins la majeure partie de l'énergie disponible. La chose est-elle possible? Dès maintenant, nous pouvons répondre à cette question par l'affirmative; un certain nombre de constructeurs se sont engagés dans cette voie et ont pu présenter au Jury des résultats vraiment consacrés par la pratique.

Le réglage le plus important, dans ce cas, est évidemment celui de l'intensité; dans le cas d'une seule lampe, la chose est évidente, puisque la tension étant, par hypothèse, maintenue constante aux bornes ne peut servir au réglage; dans ce cas, une lampe en série serait tout indiquée; une lampe différentielle se comporterait comme une lampe en série, l'électro en dérivation ayant alors une action constante.

Dans le cas de plusieurs lampes en série, sans résistance ou avec résistance très faible intercalée, c'est encore l'intensité qui est soumise aux plus grandes fluctuations, car la plus petite baisse de tension de l'un des arcs (par suite, par exemple, d'une impureté du charbon) augmenterait l'intensité dans des proportions énormes; le système de réglage en série paraît donc encore s'imposer; mais, ici, il ne suffirait pas, car, s'il maintient l'intensité sensiblement constante, la tension cesserait bien vite de se répartir également entre les lampes : c'est pour assurer cette égale répartition de la tension entre toutes les lampes qu'intervient le réglage en dérivation; et nous voyons que nous sommes amenés, d'une manière à peu près forcée, au réglage différentiel. Le réglage en dérivation seul entraînerait des variations inadmissibles de l'intensité.

La bobine série du réglage différentiel étant destinée à maintenir le courant constant, on peut se demander si, en toute rigueur, une seule lampe différentielle ne suffirait pas dans ce but, les autres, placées à la suite, étant simplement en dérivation. Nous avons fait l'expérience au Laboratoire central d'électricité et nous avons trouvé qu'on peut obtenir ainsi une marche acceptable, quoique moins satisfaisante qu'avec toutes les lampes différentielles.

On peut se demander également, avec M. A. Bochet, s'il ne serait pas plus logique de séparer franchement le mécanisme régulateur de l'intensité du mécanisme régulateur des lampes, ce qui permettrait de revenir aux simples lampes différentielles.

Quoi qu'il en soit, jusqu'ici, le réglage différentiel semble s'être imposé à tous les constructeurs qui se sont occupés de la question, mais, même ainsi, des difficultés spéciales se présentent; la principale, que nous avons déjà signalée à plusieurs reprises, consiste dans la tendance du courant à prendre, sous les plus petites influences, une intensité dangereuse; deux solutions principales ont été proposées pour éviter cet inconvénient : la première, due à M. Hégner, consiste à protéger le système des trois lampes par un rhéostat automatique, normalement en court-circuit, et qui s'intercale de lui-même en cas de danger. Cette solution a le mérite, si je ne me trompe, d'avoir été la première en date et d'avoir rendu possible et pratique la marche de trois lampes sans résistance sur 110 volts; mais on ne peut nier que la présence d'un appareil nouveau et relativement délicat, le rhéostat automatique, ne soit une complication du système. La deuxième solution, qui a été préconisée par MM. Vigreux et Brillié et employée également par d'autres constructeurs, M. Bardon entre autres, consiste à munir la lampe d'un mécanisme de recul extrêmement énergique, qui allonge l'arc dès que l'intensité augmente, et s'oppose ainsi à tout accroissement anormal de l'intensité; ce mouvement de recul est obtenu au moyen de l'enroulement série; il doit être à la fois très énergique et très amorti pour éviter les oscillations, ou, comme on dit vulgairement, les pompages de la

lampe; il y a intérêt, au contraire, à ne pas amortir le mouvement de rapprochement qui se fait sous l'influence de forces beaucoup plus faibles. Nous verrons comment, dans certaines lampes, cette double condition a pu être réalisée.

On voit en résumé que, dans ce système, la stabilité de l'arc n'étant pas assurée par les propriétés purement électriques d'un système, on y supplée par une stabilité artificielle de mécanisme.

La question du montage des lampes par trois en série sur 110 volts sans résistance n'est pas encore entièrement résolue par les considérations qui précèdent, il faut encore démontrer qu'il y a avantage, au point de vue économique, à employer ce système. A un examen un peu superficiel, cela semble évident, puisque au lieu de perdre de l'énergie dans une résistance inerte, on utilise cette énergie dans une troisième lampe.

Mais il est bon d'examiner les choses d'un peu plus près. En effet, lorsqu'on passe du système de deux lampes au système de trois lampes, la tension aux bornes de chaque lampe diminue; sur un réseau à 110 volts, elle est, par exemple, de 40 à 42 volts dans le premier cas et de 35 à 37 dans le second; or, on sait que, à intensité constante, le flux lumineux total, donné par un arc, est une fonction $[f(e)]$ de la tension aux bornes. Pour qu'il y ait économie dans l'emploi de trois lampes au lieu de deux, il faut évidemment que l'on ait

$$3f(37) > 2f(40),$$

ou

$$f(37) > \frac{2}{3}f(40),$$

et il faut, de plus, que la différence soit assez grande pour justifier et l'amortissement d'une troisième lampe, et l'augmentation de sensibilité du mécanisme, qui est hors de discussion lorqu'on veut se passer totalement d'une résistance interposée. On trouvera plus loin (chap. VIII) un certain nombre de mesures qui permettent de donner une conclusion positive à cette discussion; on verra que, dans l'état actuel de la fabrication des charbons, la substitution du nouveau système à l'ancien permet de réaliser des économies très notables, allant jusqu'à 40 p. 100. Ce résultat est évidemment dû à l'amélioration de la fabrication des charbons, et spécialement des âmes des charbons positifs, qui permet de maintenir, même avec des tensions réduites, des arcs suffisamment longs pour éviter le mauvais rendement dû à l'occultation du cratère par le charbon négatif.

II. **Lampes en vase clos.** — L'un des principaux inconvénients des lampes à arc ordinaire est l'obligation où l'on se trouve de remplacer périodiquement les charbons : avec une lampe qui brûle 25 millimètres à l'heure, et des charbons de 60 centimètres, on ne peut guère marcher plus de vingt-quatre heures; et déjà ces dimensions de charbon entraînent des dimensions tout à fait anormales des lampes. Quelques constructeurs, pour augmenter cette durée de fonctionnement, ont réalisé des lampes à deux

paires de charbon, dont l'une se substitue automatiquement à l'autre dès que les charbons touchent à leur fin; ces lampes peuvent rendre de grands services dans certains cas, mais c'est toujours un peu au détriment de la simplicité du mécanisme.

L'idée de retarder la combustion des charbons en les soustrayant à la présence de l'air atmosphérique est assez ancienne: d'après l'historique que M. Marks a donné dans sa communication à la Société internationale des électriciens, en 1897, le premier essai de réalisation d'un arc en vase clos remonte à 1846 (Staite); depuis, bien des essais analogues ont été tentés, mais sans aucun succès pratique, car nous ne voyons aucune lampe de cette espèce figurer à l'Exposition de 1889. La difficulté à laquelle, pendant cette longue période, se heurtent tous les inventeurs, est le dépôt très rapide d'un nuage de charbon sur les parois du globe qui enferme l'arc, dépôt qui obscurcit ce globe et rend le fonctionnement impossible.

La production de ce nuage est évidemment due à une combustion incomplète non pas des charbons eux-mêmes, mais de la vapeur de charbon qui forme l'arc.

L'expérience a montré qu'en élevant considérablement la tension de l'arc, et par suite l'écart des charbons, et en permettant une très légère rentrée d'air par des orifices étroits, cet inconvénient pouvait être sinon complètement supprimé, au moins très fortement atténué; dans ces conditions, les charbons eux-mêmes ne brûlent pas, ou brûlent très peu, ce qui conserve l'avantage de la lampe en vase clos, tandis que les vapeurs de carbone subissent une combustion complète. Le voltage nécessaire pour atteindre ce résultat est de 80 volts à l'arc, ce qui exige, sur un réseau à 120 volts, l'emploi d'une seule lampe en dérivation avec perte de 30 volts dans le rhéostat de stabilité.

L'aspect de l'arc en vase clos est très différent de celui de l'arc ordinaire: l'arc, et par conséquent le cratère, n'occupent qu'une faible partie de la section des charbons, en sorte que le charbon supérieur ne se creuse pas comme dans les arcs ordinaires: l'arc prend une position latérale, puis, à mesure que le charbon s'use, tourne régulièrement autour de l'axe; cette rotation rend les mesures photométriques fort difficiles. De plus, l'arc étant fort long (1 centimètre environ) donne à la lumière une teinte violacée que n'ont pas les arcs à l'air libre.

Depuis son apparition (1896-1897), la lampe en vase clos a donné déjà lieu à de nombreuses études; M. Marks, qui l'a introduite pour la première fois en France (1897), a donné les résultats suivants pour deux lampes, l'une en vase clos, l'autre à l'air libre, de 425 à 430 bougies (hémisphérique inférieur).

MOYENNE HÉMISPHÉRIQUE INFÉRIEURE.	WATT/BOUGIES.
Lampe en vase clos	1.17
Lampe ordinaire	0.953

INTENSITÉ MAXIMA.	BOUGIES.
Lampe en vase clos	595
Lampe ordinaire	1080

On voit que la lampe en vase clos donne une courbe de répartition plus régulière : c'est un avantage que revendiquent ses partisans; les courbes que nous donnons plus loin confirment ce résultat.

La même année (1897), nous trouvons quelques données dans un travail de M. C. Pierron, présenté à l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur. Les expériences portent sur une lampe Jandus munie d'un petit globe intérieur en verre laiteux et d'un globe extérieur en verre clair. Les consommations indiquées sont les suivantes :

	WATT/BOUGIE. — bougie allemande.
Lampe en vase clos	0.88
Lampe Siemens avec globe identique	0.577
Arc nu	0.462

La consommation de charbon a été trouvée de 0 gr. 239, par heure, pour l'arc enfermé et de 10 grammes, par heure, pour l'arc à l'air libre.

En 1897, également, M. Blondel a exécuté quelques essais sur une lampe en vase clos « Pioneer ».

Les résultats ont été les suivants :

Charbons *Électra* homogènes	12 millimètres.
Intensité du courant	4.5 ampères.
Différence de potentiel	80 volts.
Écart	7 millimètres.
Intensité moyenne sphérique	320 bougies.
Dépense spécifique	1.12 watt/bougie.

D'un travail présenté, en 1898, à l'*American Institute of electrical Engineer*, par MM. W.-H. Freedmann, H.-S. Burroughs, J. Rapaport (pour le courant continu) et MM. C.-P. Matthews, W.-H. Thompson, J.-E. Hilbish (pour le courant alternatif), il semble résulter que la dépense spécifique mesurée aux charbons serait de 2 $\frac{watts}{bougies}$ pour le courant continu et 3 $\frac{watts}{bougies}$ pour le courant alternatif; cette dépense mesurée aux bornes de la lampe monterait à 2.7 $\frac{watts}{bougies}$ et 3.7 $\frac{watts}{bougies}$.

Enfin, en 1899, MM. E. Gérard et de Bast ont donné les nombres suivants :

	AU DÉBUT. —	APRÈS 110 H. —
Moyenne sphérique	2.9 $\frac{w}{b}$	3.7
Moyenne hémisphérique	2.45	3.05

Nous donnons plus loin les courbes de répartition lumineuse et les consommations de deux lampes en vase clos, à courant continu, que nous avons eu occasion d'essayer à l'occasion de l'Exposition.

CHAPITRE VI.

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX TYPES DE LAMPES EXPOSÉES.

Nous classerons, dans ce qui va suivre, les lampes à arc suivant la nature de leur mécanisme : le mode de montage électrique (série, dérivation, différentiel) a moins d'importance au point de vue de la classification, car bien souvent le même mécanisme peut être disposé pour recevoir l'un de ces trois modes de réglage.

Le tableau suivant donne cette classification.

CLASSIFICATION DES LAMPES À ARC EXPOSÉES.

Réglage mécanique...
1° Systèmes équilibrés.
2° Frein.
3° Déclenchement.
4° Moteur.

Réglage électrique....
1° Dérivation.
2° Série.
3° Différentiel.

	DÉRIVATION.	SÉRIE.	DIFFÉRENTIEL.
I. Systèmes équilibrés.	Klostermann.	"	Eck.
	Mersch.	"	Krizik (Pilsen).
II. Frein.....	Cie générale électrique.	(Voir aussi les lampes en vase clos.)	Bardon.
	Hélios.		
	De Puydt.		Cance.
	Reittop.		Thury.
	Santter-Harlé.		Vigreux et Brillié.
III. Déclenchement...	Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft.	"	Daydé et Pillée.
	Brianne.	"	"
	Combier et Duflos.	"	Hegner.
	Les fils d'Adolphe Mougin.	"	Korting et Mathiesen.
	Gramme.	"	Schuckert.
	Hansen.	"	Siemens et Halske.
	Körting et Mathiesen.	"	Compagnie générale des travaux d'éclairage et de force.
	Société industrielle des téléphones.	"	"
IV. Moteur.....	"	"	Allgemeine El. Gesellschaft.
	"	"	Fabius Henrion.
	"	"	Ganz (lampe Hackl).
	"	"	Schuckert.

LAMPES EN VASE CLOS.

(Frein direct, série.)

Adams Bagnall El. C°.
Helios Upton.
Jandus.
Marks.
Tœrring.
Western Electric C°. (Lampe *Petite*.)

I. LAMPES ÉQUILIBRÉES.

LAMPE KLOSTERMANN, COMPAGNIE ÉLECTRIQUE PARISIENNE. (FRANCE.)

(Equilibrée, dérivation, fig. 21.)

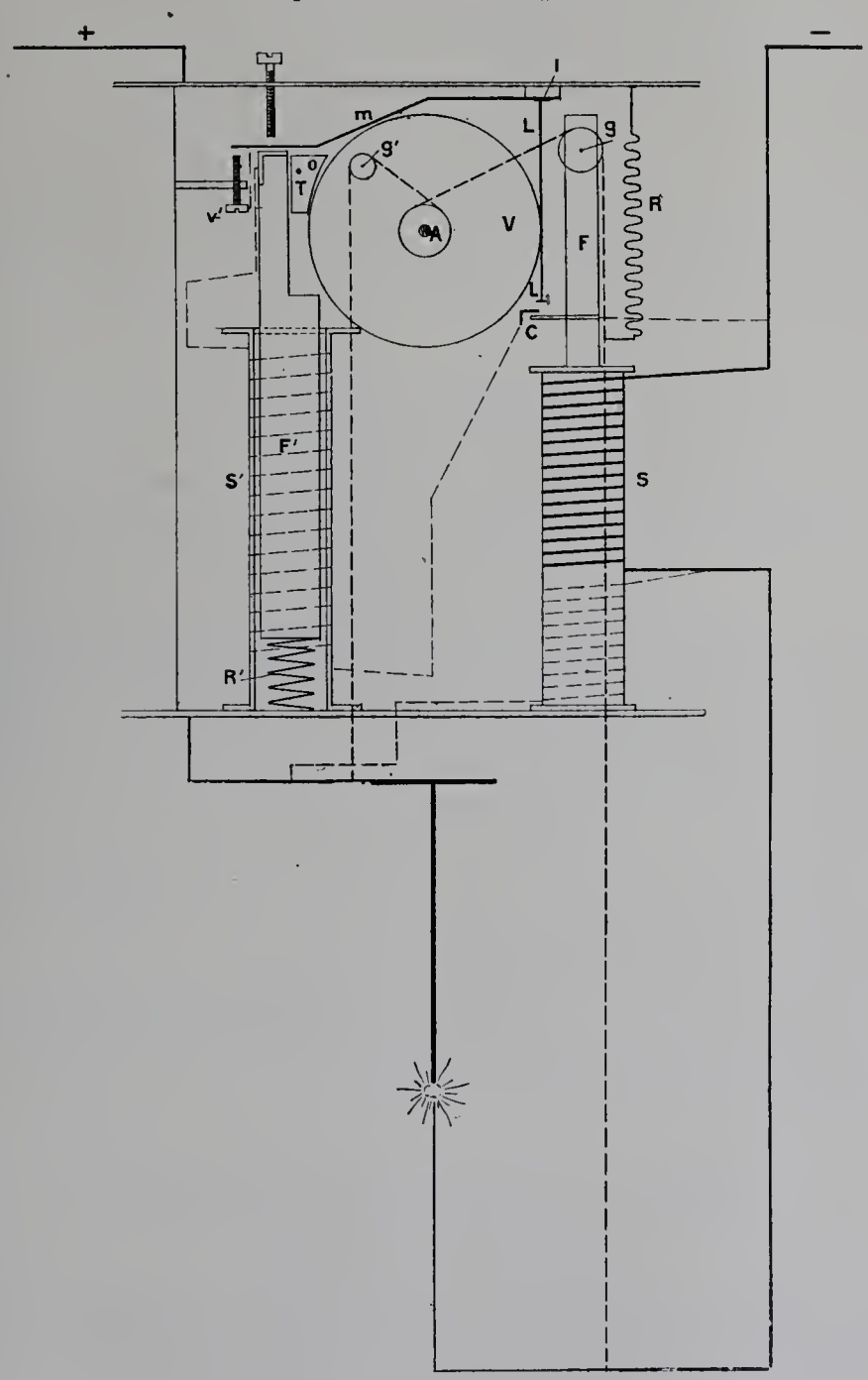


Fig. 21. (Lampe Klostermann.)

Le mécanisme de la lampe comporte deux solénoïdes : l'un, S', pour l'allumage, enroulé en différentiel, et l'autre, S, pour le réglage, enroulé en dérivation.

Dans le solénoïde différentiel peut se mouvoir verticalement un noyau de fer doux F,

rappelé vers le haut par un ressort antagoniste R. Ce noyau est prolongé, vers le haut, par une tige portant un galet *g*; les deux porte-charbons sont réunis par une lanière qui, du charbon positif, passe sur un galet *g'*, s'enroule sur l'axe A d'un grand volant en fer V, passe sur le galet *g*, et va enfin supporter le porte-charbon négatif.

Dans le solénoïde de réglage peut aussi se mouvoir verticalement un noyau en fer F', portant à sa partie supérieure un taquet également en fer T, articulé autour du point O; ce taquet, lorsqu'il est aimanté, vient adhérer avec le volant V, dont il est d'ailleurs séparé par une mince feuille de cuivre pour éviter toute adhérence due à l'aimantation rémanente.

Le circuit dérivé, qui excite le solénoïde S', est interrompu en deux points : un premier contact C est commandé par l'électro d'allumage; un second est établi entre la lame flexible *m* fixée en *l*, et le noyau F' du solénoïde en dérivation : ce dernier contact peut être rompu lorsque la lame flexible, entraînée par l'attraction du noyau F', vient buter contre la vis V'.

A l'allumage, le noyau F est attiré par le solénoïde série S; le galet *g* s'abaisse et, dans ce mouvement, écarte légèrement le charbon négatif : l'arc s'allume ; par l'usure, l'intensité diminuant, le noyau F se relève, rapprochant ainsi les charbons; il arrive un moment où le contact C s'établit; à partir de ce moment, c'est le solénoïde dérivé qui entre en jeu.

Lorsque l'arc s'allonge, la différence de potentiel augmente, le noyau F' est attiré; le taquet T, aimanté, entraîne par adhérence le volant V et les charbons se rapprochent ; lorsque la lame flexible *f* vient buter contre la vis V', le courant est interrompu dans le solénoïde en dérivation S', le noyau F' se relève d'une petite quantité, et en même temps l'adhérence entre T et V est supprimée; puis, le même réglage recommence ainsi, par petits à-coups successifs.

Une lame flexible L, adhérant magnétiquement au volant V, empêche celui-ci de tourner sous l'action du poids des charbons.

Cette lampe, on le voit, tient à la fois des lampes équilibrées et des lampes à moteur, car, ici, ce n'est pas le poids du porte-charbon supérieur qui forme la force motrice, mais bien l'action directe du solénoïde en dérivation.

LAMPE MERSH. (GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG.)

(Équilibrée, dérivation, fig. 22.)

La lampe Mersh se compose de deux solénoïdes, SS', enroulés en dérivation aux bornes de l'arc et enveloppés d'une cuirasse en fer doux EE.

A l'intérieur de ces solénoïdes se meuvent deux noyaux en fer doux FF', reliés à leur base par une traverse T de même métal, de manière à constituer dans leur ensemble un circuit magnétique fermé. Le porte-charbon supérieur est supporté par deux chaînettes *cc* qui passent sur la gorge de deux galets *gg* dentés, situés à la partie supérieure de la lampe. L'autre extrémité de ces chaînettes est fixée aux noyaux plongeurs.

Les deux noyaux avec la traverse en fer doux constituent le porte-charbon inférieur qui doit être plus lourd que le porte-charbon supérieur. Cet excès de poids est variable au fur et à mesure de la combustion des charbons; mais en choisissant le porte-charbon inférieur suffisamment lourd par rapport au supérieur, cette influence peut être négligée.

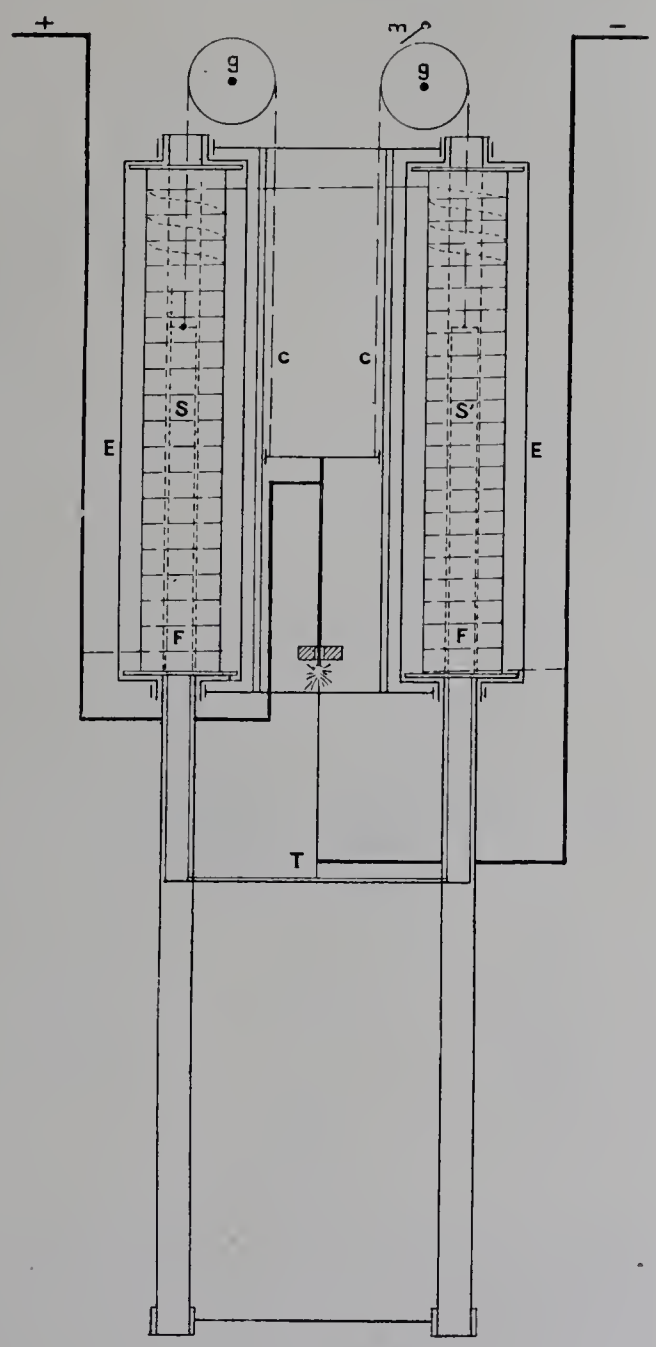


Fig. 22. (Lampe Mersh.)

Les galets, sur lesquels passent les chaînettes, sont dentés sur leur périphérie, afin d'agir en combinaison avec un petit cliquet *m* dont la course est réglable au moyen d'une vis, et qui a pour but de limiter l'arc à l'allumage.

Allumage. — Supposons que les extrémités des charbons soient écartées, ce qui a toujours lieu après l'extinction des lampes, parce que les galets dentés sont arrêtés

par le cliquet dans la course en arrière que lui imprime le poids plus lourd du porte-charbon inférieur.

En lançant le courant, les solénoïdes s'aimantent et attirent les noyaux qui rapprochent les charbons: mais aussitôt le contact effectué, les bobines n'étant plus excitées, les charbons s'écartent en provoquant l'allumage. Mais l'écart est limité par le cliquet qui vient s'engager dans une dent du galet.

Réglage. — L'allumage une fois formé, le cliquet n'entre plus en jeu que pour limiter les écarts que peuvent produire éventuellement les éclats de charbon et, à partir de ce moment, la force magnétique développée par les bobines agit sur le poids moteur du porte-charbon inférieur comme une balance électro-magnétique.

Le réglage de cette lampe est très simple; pour augmenter le voltage, il suffit d'augmenter le poids du porte-charbon inférieur; pour diminuer le voltage, on exécute l'opération contraire.

Au fur et à mesure de l'usure des charbons, le voltage augmente aux bornes de la lampe; le champ magnétique des solénoïdes augmente aussi et les noyaux sont attirés en provoquant le rapprochement des charbons.

Manchon Jupiter. — Ce manchon est formé d'un mélange d'un certain nombre de matières réfractaires.

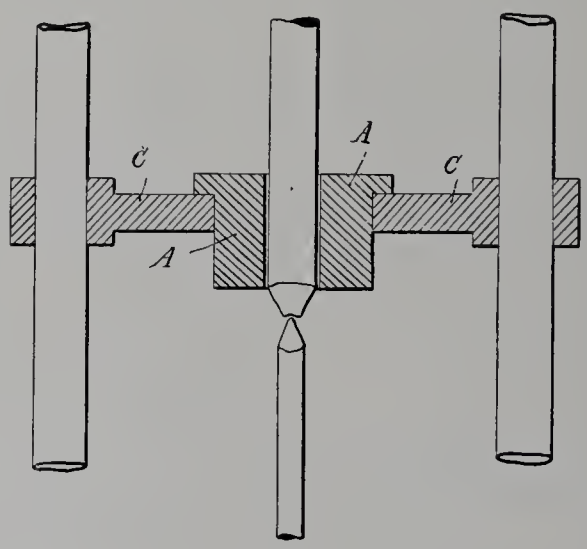


Fig. 23.

Il est placé de manière à envelopper le charbon supérieur dans la partie voisine de l'arc (*fig.* 23). La combustion de ce charbon est, par ce fait, beaucoup moins active. Le charbon supérieur a une durée d'environ 40 à 50 p. 100 plus grande que sans manchon.

Le manchon devient aussi incandescent dans le fonctionnement de la lampe et il joue le rôle de réflecteur de l'arc; cette action est surtout importante dans la lampe à courant alternatif. La composition du manchon est la suivante :

Argile plastique	4 parties.
Alumine	3
Kaolin	0.5

LAMPE ECK. (FRANCE.)

(Équilibrée, différentielle, fig. 24.)

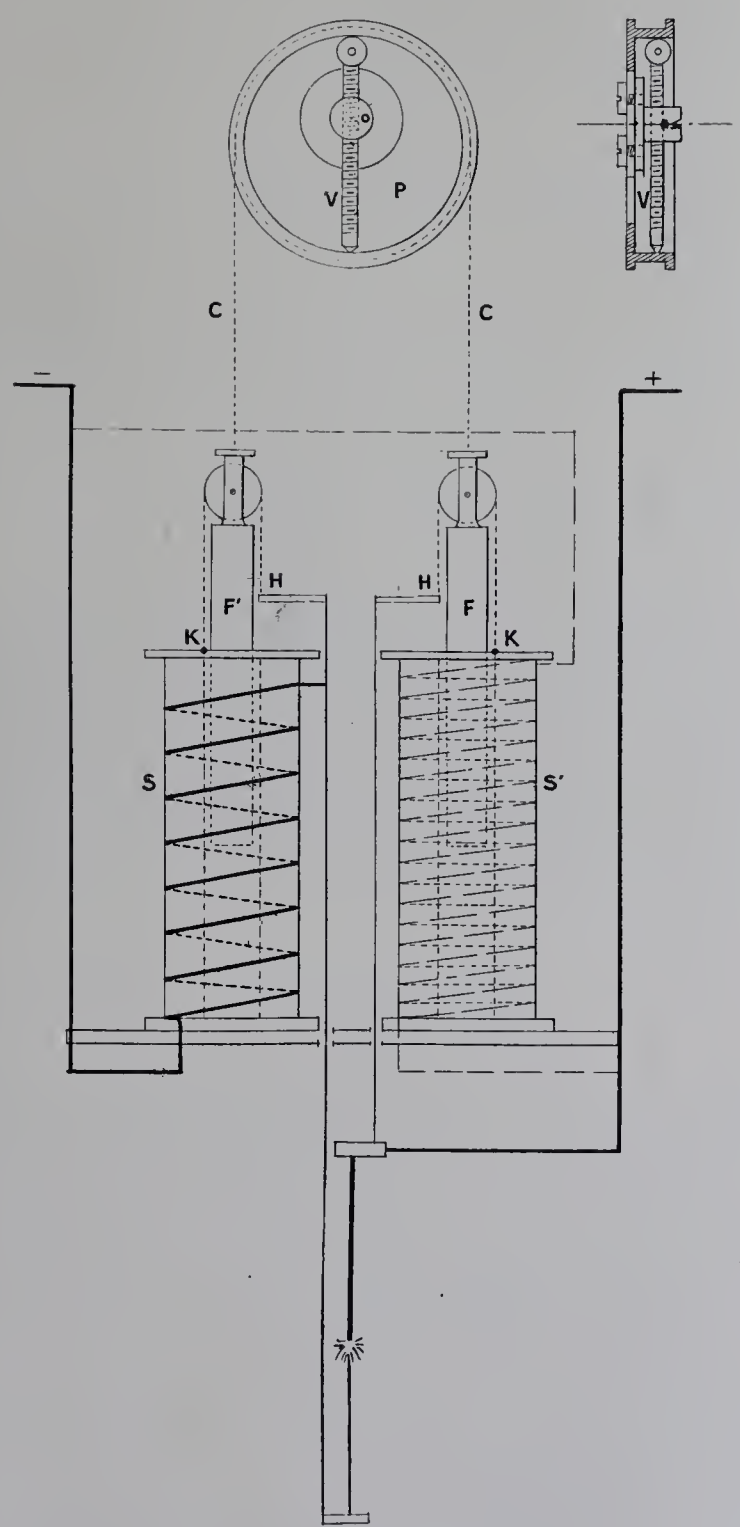


Fig. 24. (Lampe Eck.)

Cette lampe, exposée par la *Compagnie générale des travaux d'éclairage et de force*, se compose de deux solénoïdes S et S', l'un en série, l'autre en dérivation, agissant sur

IMPRIMERIE NATIONALE.

deux noyaux de fer doux F et F′ reliés à leurs extrémités supérieures par une chaînette C passant sur une poulie P.

Chacun de ces noyaux porte une petite poulie (p, p') sur laquelle passe un cordonnet dont une des extrémités K est fixe, tandis que l'autre H soutient les porte-charbons.

Les deux bobines sont calculées de sorte que, en fonctionnement normal, c'est-à-dire pour une intensité et pour une tension données, les nombres des ampèretours soient égaux de part et d'autre [1].

L'attraction magnétique variant suivant le degré d'enfoncement des noyaux, on voit que, dans ces conditions, la lampe ne donnerait pas un arc normal pendant toute la durée de son fonctionnement.

Pour compenser cette cause d'irrégularité, la poulie P est excentrée sur son axe de rotation, en sorte que, à mesure que les charbons s'usent, la différence des bras de levier compense la différence des forces attractives exercées par les solénoïdes sur leurs noyaux.

Une vis V permet de régler le degré d'excentricité de la poulie P par rapport à l'axe O.

Cela posé, le fonctionnement de la lampe est aisé à comprendre.

Allumage. — Les charbons sont éloignés l'un de l'autre au moment de l'allumage: lorsque l'on ferme le circuit, le solénoïde en dérivation S′ est seul parcouru par un courant; en aspirant son noyau, il amène les charbons au contact; mais aussitôt, sous l'influence du solénoïde en série S, les charbons s'écartent et l'arc s'amorce.

Réglage. — Les charbons s'usant, l'intensité tend à diminuer, la différence de potentiel à augmenter; et sous ces deux influences, les charbons se rapprochent, et l'arc se maintient à sa longueur normale.

LAMPE KRIZIK PILSEN.

(Équilibrée, différentielle, fig. 25.)

La lampe Pilsen était exposée en Autriche par la maison *Krizik*, en Allemagne par la maison *Schuckert*, et en France par la maison *Fabius Henrion* et par la *Compagnie générale d'électricité de Creil;* elle est bien connue et figurait déjà à l'Exposition de 1889.

Le mécanisme de réglage se compose de solénoïdes, l'un en série S, l'autre en dérivation S′; dans chacun de ces solénoïdes peut se mouvoir un noyau *conique* en fer doux N, N′ engagé dans un tube de laiton formant le prolongement supérieur des porte-charbons correspondants.

La chaîne des porte-charbons passe sur poulie P, les charbons se déplacent ainsi de quantités égales, mais en sens inverse.

Chaque tube porte-charbon est pourvu sur toute sa longueur de deux rainures diamétralement opposées, dans lesquelles s'engagent deux galets de guidage.

[1] Par exemple, pour une lampe de 10 ampères, 40 volts, le nombre de spires de la bobine en série sera de 214; celui de la bobine en dérivation, de 6417, et cette dernière bobine aura une résistance de 118 ohms.

A l'allumage, les charbons sont au contact; l'attraction du solénoïde série provoque un brusque écart.

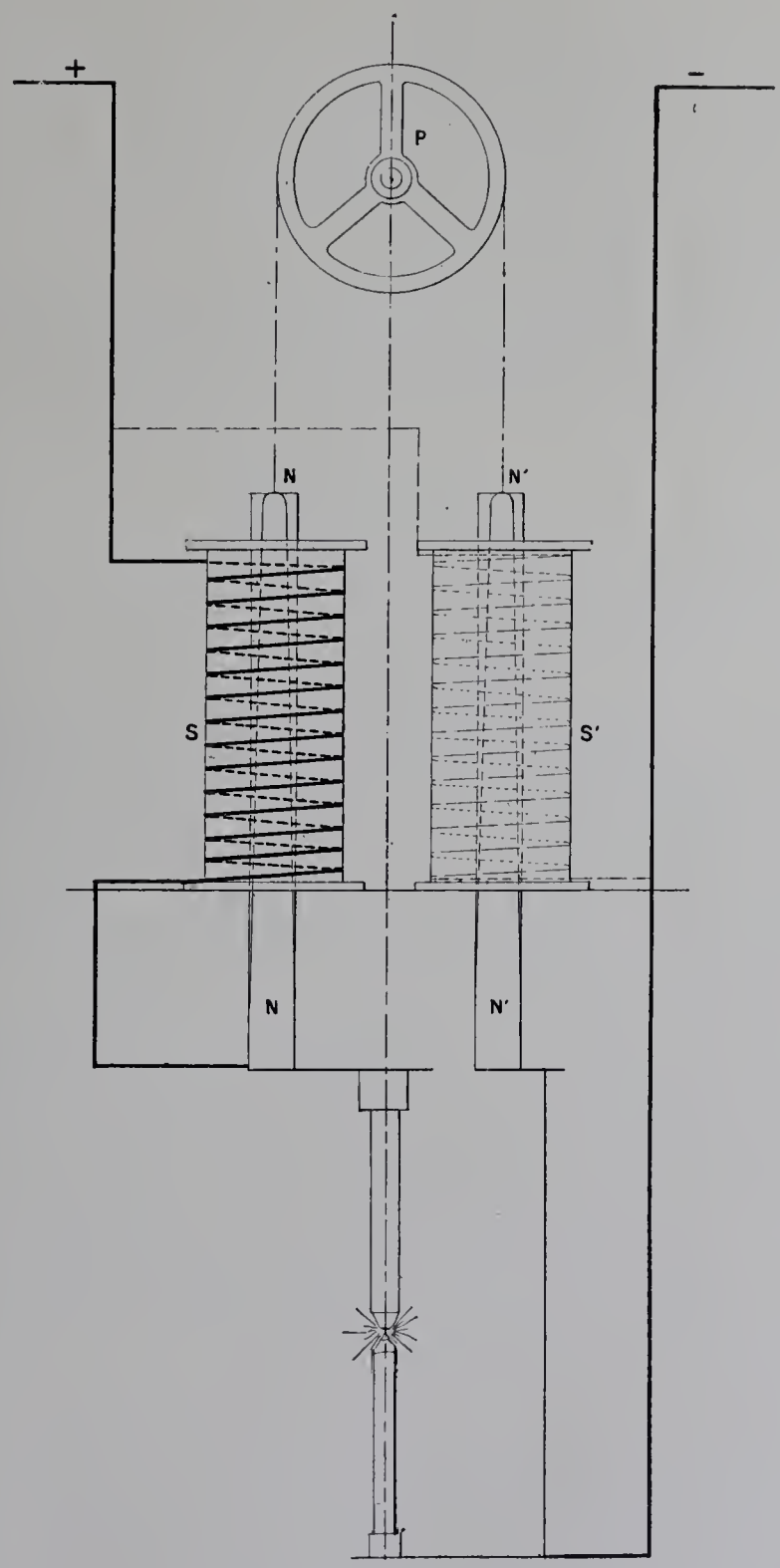


Fig. 25. (Lampe Krizik Pilsen.)

Pendant la marche, l'équilibre exige que l'action des deux solénoïdes s'équilibre; d'où, en appelant I l'intensité et e la différence de potentiel, $KI = K'e$.

D'où :

$$\frac{c}{i} = \frac{K}{K'}.$$

Si donc les quantités K et K′ sont constantes, la lampe marchera à résistance apparente constante, c'est-à-dire que la longueur de l'arc devra se maintenir constante[1]. Or, K et K′ représentent respectivement, pour un courant ou pour une tension unité, l'action qui s'exerce sur les noyaux intérieurs : il faut donc que cette action soit indépendante de la position du noyau à l'extérieur du solénoïde. On obtient ce résultat au moyen d'une forme convenablement étudiée de ces noyaux.

Cette lampe est d'une simplicité remarquable; elle fonctionne régulièrement, mais exige des charbons d'une pureté extrême: e moindre éclat provoque (pendant un temps très court, il est vrai) de grandes variations d'intensité et de tension.

II. LAMPES À FREIN.

LAMPE DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE DE NANCY.

(FRANCE.)

(Frein, dérivation, fig. 26.)

Cette lampe se compose d'un mouvement d'horlogerie *à axes fixes;* l'axe à petite vitesse est actionné par la chaîne de suspension des porte-charbons; le porte-charbon supérieur forme le poids moteur.

Un cadre horizontal CC′, mobile autour de l'axe O, reçoit la chaîne sur un galet de renvoi *g* placé à l'une ses extrémités. L'autre extrémité porte un amortisseur à air M et l'armature A de l'électro-aimant E.

Cette armature principale A est chargée de provoquer l'allumage; une armature secondaire *a* commande le mouvement de défilage des charbons par l'intermédiaire d'une lame flexible L formant frein et agissant sur le dernier mobile B du mouvement d'horlogerie. Le réglage de la lampe s'effectue en tendant plus ou moins le ressort antagoniste R.

Allumage. — Au repos, les charbons sont écartés; quand on ferme le circuit, l'électro E attire brusquement les deux armatures A et *a*; les charbons se rapprochent jusqu'au contact : l'électro se trouvant à ce moment en court-circuit abandonne ses armatures, et le cadre CC′ basculant éloigne le charbon inférieur de quelques millimètres : l'arc est amorcé.

Réglage. — En même temps que l'arc est amorcé, la lame flexible L forme frein sur le volant B et empêche ainsi tout mouvement de défilage. Lorsque, par suite de l'usure des charbons, l'arc s'est allongé, la tension augmente aux bornes, et avec elle l'aimantation l'armature *a* est attirée de nouveau, la pression de la lame L diminue, et le mouvement d'horlogerie, rendu libre, permet le rapprochement des charbons.

[1] En effet, si un certain nombre de lampes différentielles, ou à résistance apparente constante, sont montées, avec ou sans rhéostat, sur un réseau à potentiel constant, l'intensité est maintenue constante, et par conséquent aussi la tension et la longueur (aux petites irrégularités près dues au réglage).

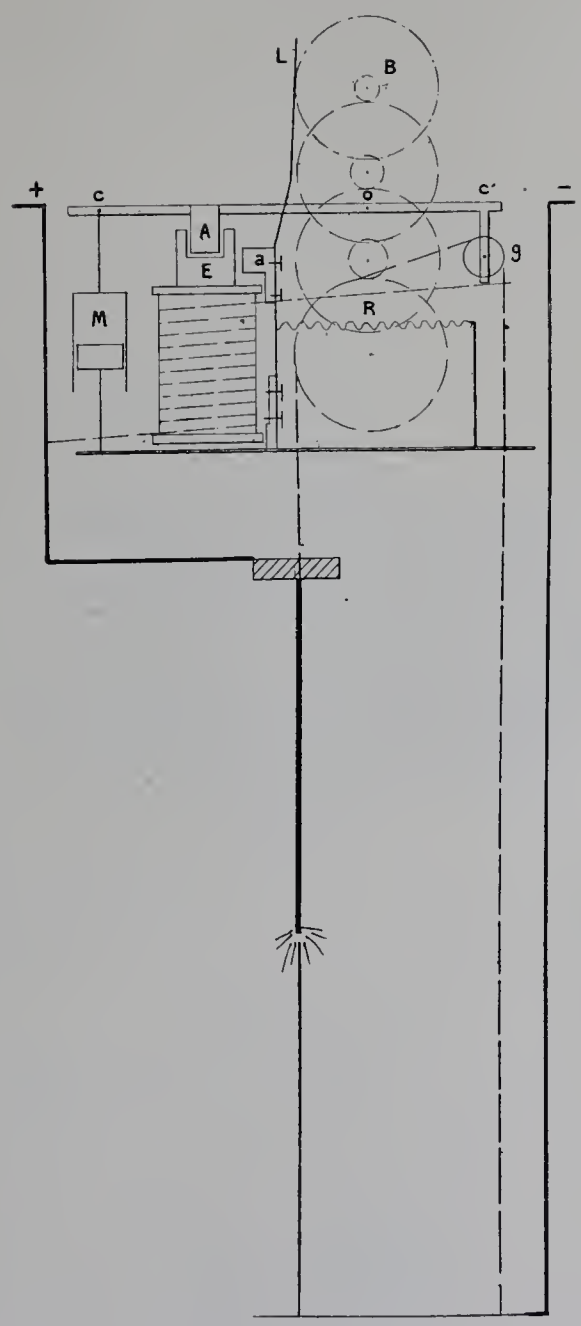


Fig. 26. (Lampe de la Compagnie générale électrique de Nancy.)

LAMPE A. DE PUYDT.

(BELGIQUE.)

(Frein, dérivation, fig. 27.)

La lampe de Puydt, exposée par la maison *Beer,* est une lampe en dérivation, à frein. Le point caractéristique de cette lampe est que l'électro-aimant de réglage n'agit pas directement sur le frein, mais bien par l'intermédiaire d'un relai : l'électro-aimant de réglage se compose d'un solénoïde S muni d'un noyau fixe N. Le noyau mobile N′ est, en temps normal, maintenu vers la gauche par le ressort R; quand la différence de potentiel aux charbons augmente, l'armature R′ est attirée, et le ressort R′

vient fermer le circuit de l'électro-aimant déclencheur B. Celui-ci attire le levier L, et, le volant V étant rendu libre, les charbons se rapprochent jusqu'à l'allumage ; à ce moment,

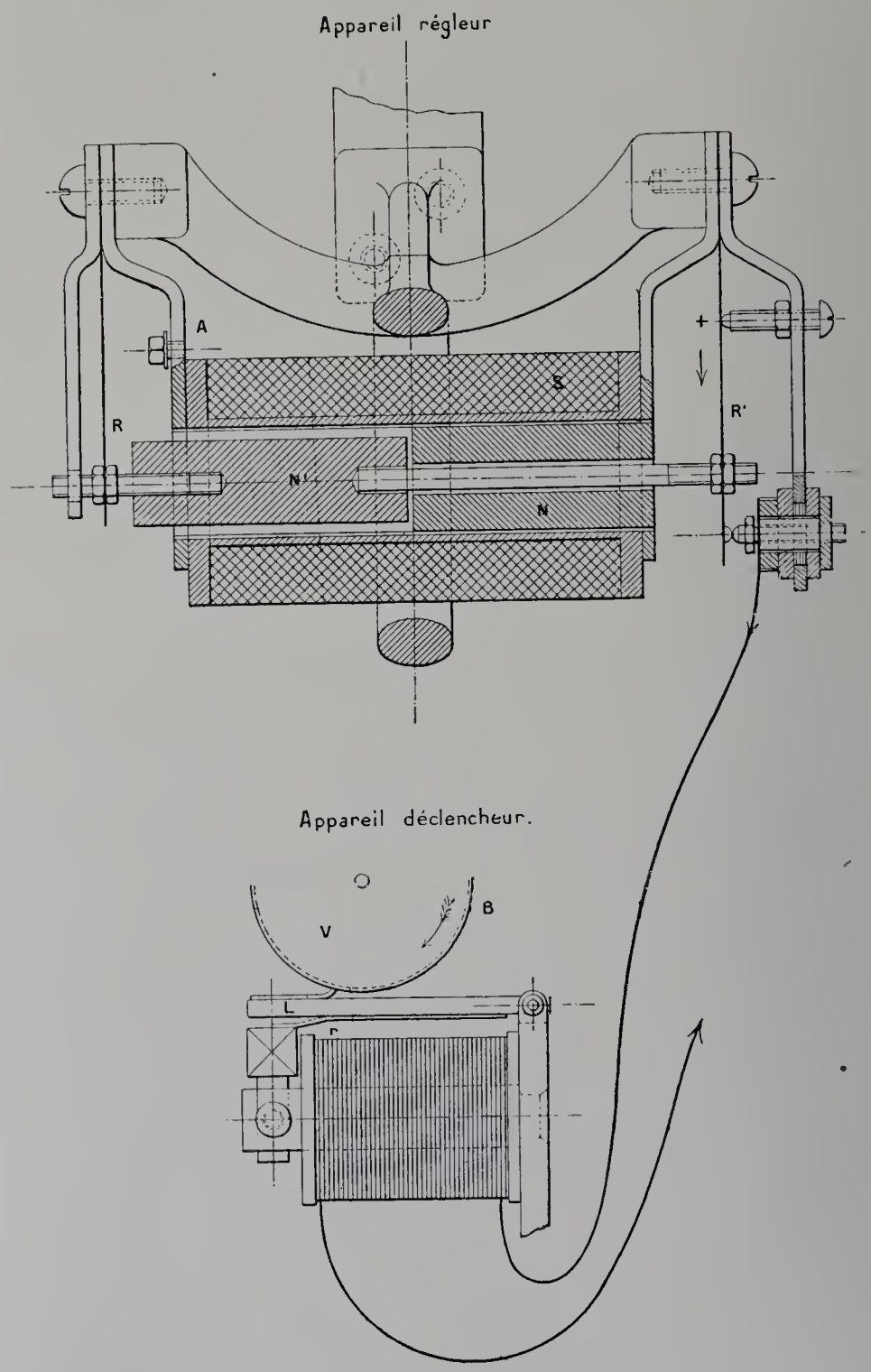


Fig. 27. (Lampe A. de Puydt.)

le courant dérivé est interrompu dans l'électro-aimant déclencheur, et sous l'influence du ressort *r*, le levier L donne au volant V le léger mouvement de recul nécessaire pour l'allumage. Pendant la marche, le réglage se comprend de lui-même.

LAMPE REITTOP. (FRANCE.)

(Frein, dérivation, fig. 28.)

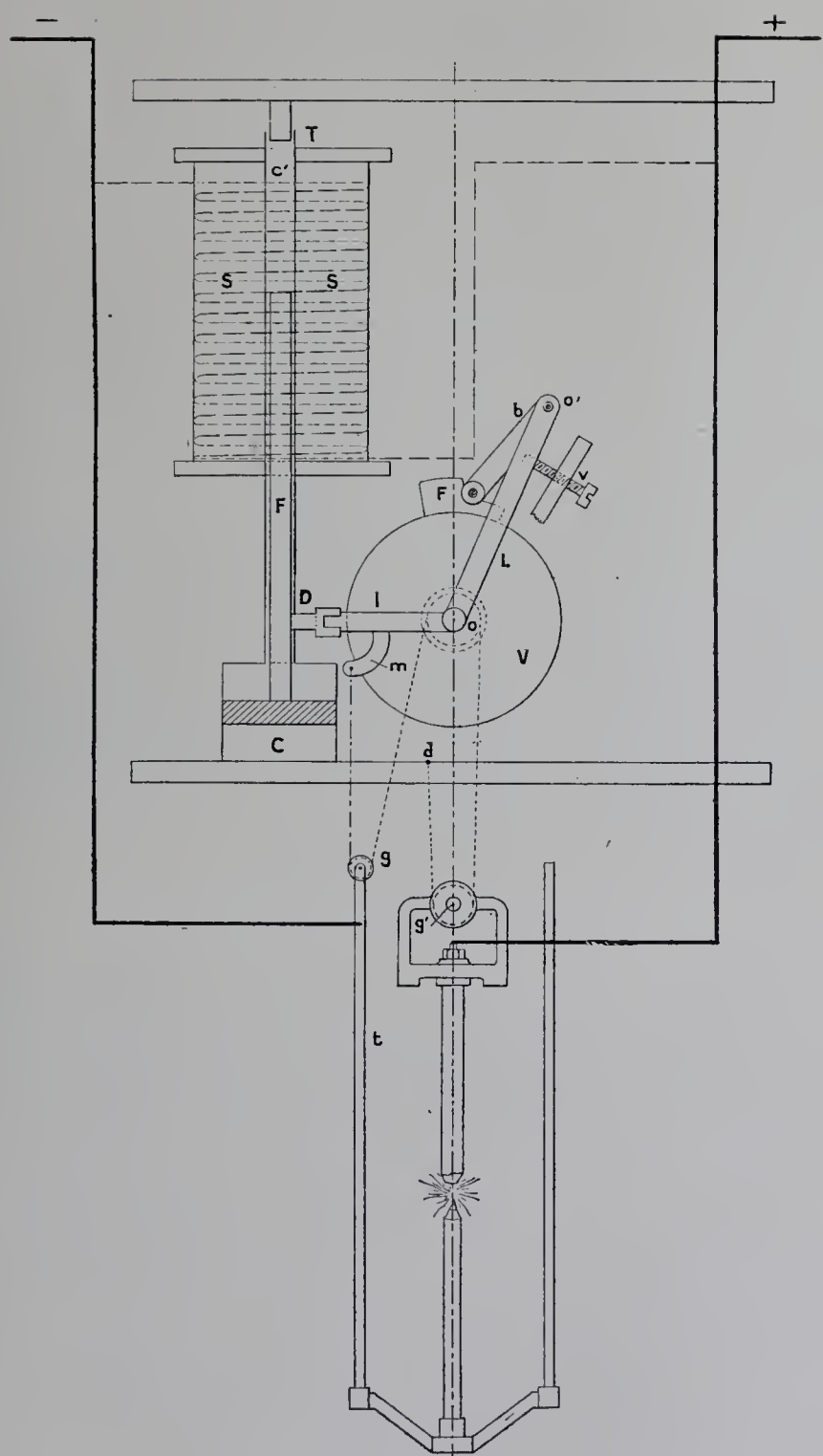


Fig. 28. (Lampe Reittop.)

Cette lampe, exposée par la *Société anonyme d'électricité et d'automobiles Mors,* se compose essentiellement d'un solénoïde S enroulé en dérivation aux bornes de l'arc et monté sur un tube bouché T, à l'intérieur duquel se meut le noyau F; ce noyau étant

ainsi renfermé, ses déplacements sont amortis par les deux chambres à air qui existent à ses extrémités C et C'. Par un doigt D passant par une petite ouverture, ce noyau agit sur l'extrémité *l* d'un cadre-balance oscillant autour de O. La deuxième branche L du cadre jointe à la première *l* porte un bras *b* pouvant osciller autour de O' et supportant le sabot du frein F. Ce dernier est disposé de telle sorte que son coincement se fait dans le sens de la marche du volant V. Une butée fixe, fournie par une vis *v*, empêche, à un certain moment, le levier *b* de suivre le mouvement du cadre-balance imprimé par le noyau, et, par conséquent, permet le desserrage du frein et le rapprochement des deux charbons. Le porte-charbon positif forme le poids moteur.

La chaîne des porte-charbons est fixée à une de ses extrémités au point *m* du cadre-balance, passe sur un galet *g* placé à l'extrémité d'une tige-guide *t* du porte-charbon négatif, vient s'enrouler ensuite sur un tambour solidaire du volant V, passe sur un galet *g'* du porte-charbon supérieur et, enfin, vient s'attacher en un point *d* de la platine inférieure de la lampe.

Allumage. — Au repos, les charbons sont écartés. Lorsque l'on ferme le circuit, le noyau est attiré et rapproche les charbons en soulevant le charbon négatif, et en desserrant le frein; dès que l'arc est amorcé, le noyau retombe en écartant les charbons.

Réglage. — Aussitôt après l'allumage, la lampe règle d'abord, par un rapprochement progressif des charbons, le frein restant serré; puis il arrive un moment où le bras *b* vient buter contre la vis *v;* à ce moment, le frein se desserre et le défilage commence.

Si les surfaces en contact de la jante du volant et du frein sont polies, le défilage s'effectue presque d'une manière continue.

LAMPE SAUTTER HARLÉ. (FRANCE.)

(Frein, dérivation, fig. 29.)

Cette lampe est du type à frein en dérivation. Elle se compose d'un solénoïde S dont l'enroulement est en dérivation aux bornes de l'arc. A l'intérieur de ce solénoïde peut coulisser, à frottement doux dans un tube guide, un noyau de fer doux F.

Sur le corps de la lampe est montée une roue R qui porte sur son axe une poulie à gorge où passe une cordelette de soie C supportant les deux porte-charbons. Ces porte-crayons, ainsi suspendus et guidés par un système convenable de roulettes, peuvent se déplacer librement : le porte-charbon positif joue le rôle de poids moteur; les crayons tendent donc à se rapprocher quand le système est libre, mais le mouvement est empêché par l'action du frein M sur la roue R décrite plus haut. La tige du frein est articulée sur un berceau B monté sur le même axe que la roue et à l'extrémité N du noyau de fer doux. Les détails du frein sont indiqués figure 29 *bis*.

Le poids du noyau F est réglé de manière à entraîner tout le système lorsque le courant n'agit pas dans la bobine ; il en résulte que, sous l'action du noyau, le frein vient faire pression à l'intérieur de la roue; cette roue et le berceau sont alors solidaires et sont entraînés par le noyau F jusqu'à ce que celui-ci vienne buter contre le fond du tube guide T; à ce moment, le mouvement est arrêté, et les crayons écartés d'une quantité

bien déterminée. Si on soulève le noyau, le mouvement inverse se produit, et le berceau B finit par être arrêté par une butée K.

A ce moment, si on continue à soulever le noyau F, le frein abandonne la roue, et, par suite de la différence des poids des porte-charbons, le rapprochement a lieu.

Allumage. — Lorsque la lampe est au repos, le noyau est au bas de sa course et les crayons sont écartés. Si on met la lampe en circuit, l'électro étant fortement excité, le noyau se soulève, décale le frein et provoque le rapprochement des charbons; au moment du contact, la différence de potentiel devenant très faible, le noyau retombe et entraîne la roue R d'une certaine quantité en provoquant l'allumage de l'arc.

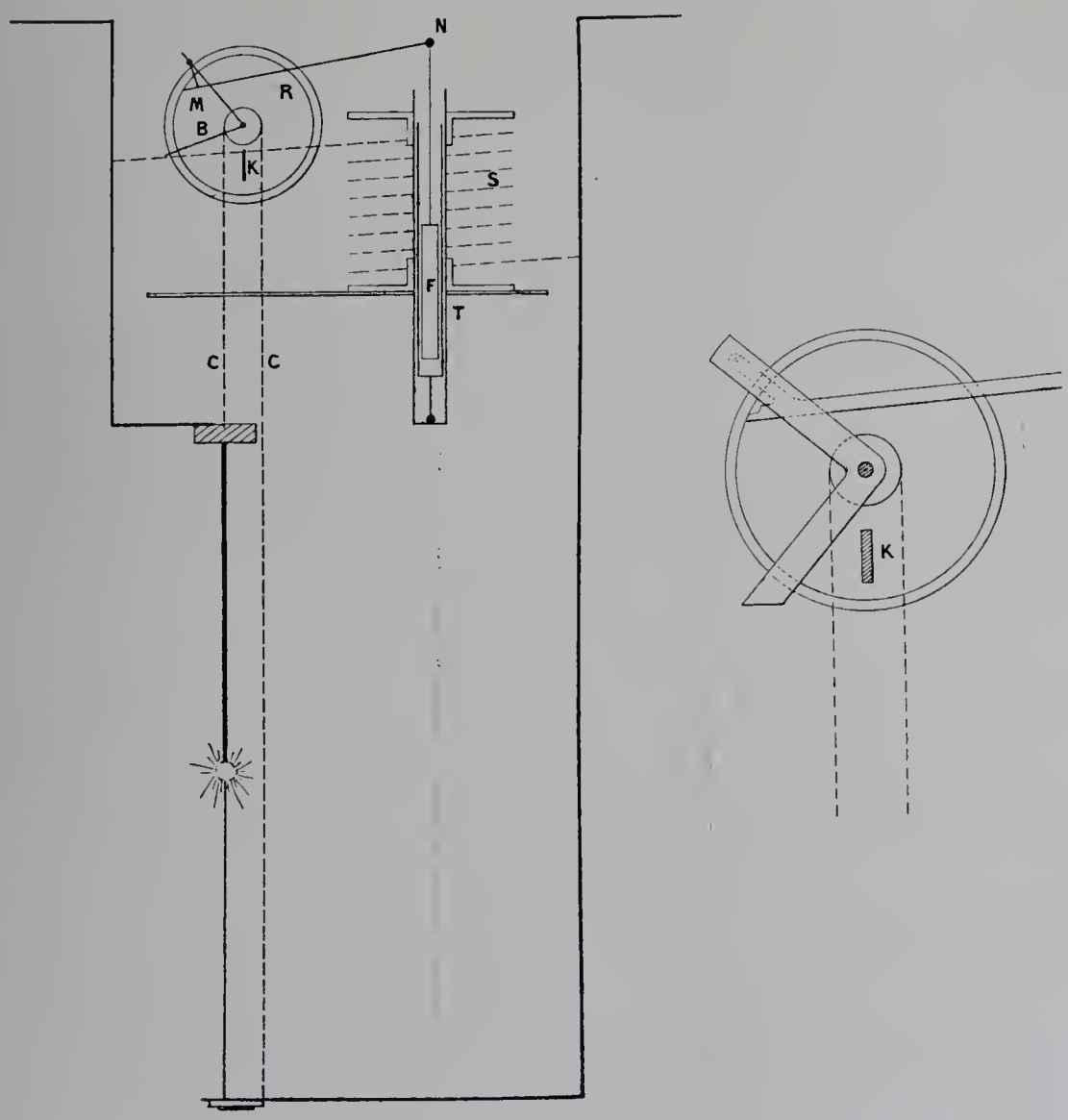


Fig. 29 et 29 *bis*. (Lampe Sautter Harlé et détails du frein.)

Réglage. — Lorsque l'arc s'allonge par suite de l'usure des charbons, la différence de potentiel augmente aux bornes de la lampe, le noyau est soulevé et produit tout d'abord le rapprochement régulier des charbons tant que, par l'intermédiaire du frein, le berceau B et la roue R sont solidaires; il arrive un moment où le berceau est arrêté par la butée; le soulèvement du noyau continuant, le frein est desserré et, la roue R

étant rendue libre, les charbons peuvent se rapprocher. Un mécanisme du même genre convient aux lampes à arc renversé, pour éclairage par diffusion, des mêmes constructeurs.

LAMPE HÉLIOS. (ALLEMAGNE.)

(Frein, série, fig. 30.)

Le solénoïde S, en série, est enroulé sur un tube de cuivre; un noyau de fer doux F peut se mouvoir verticalement dans ce solénoïde.

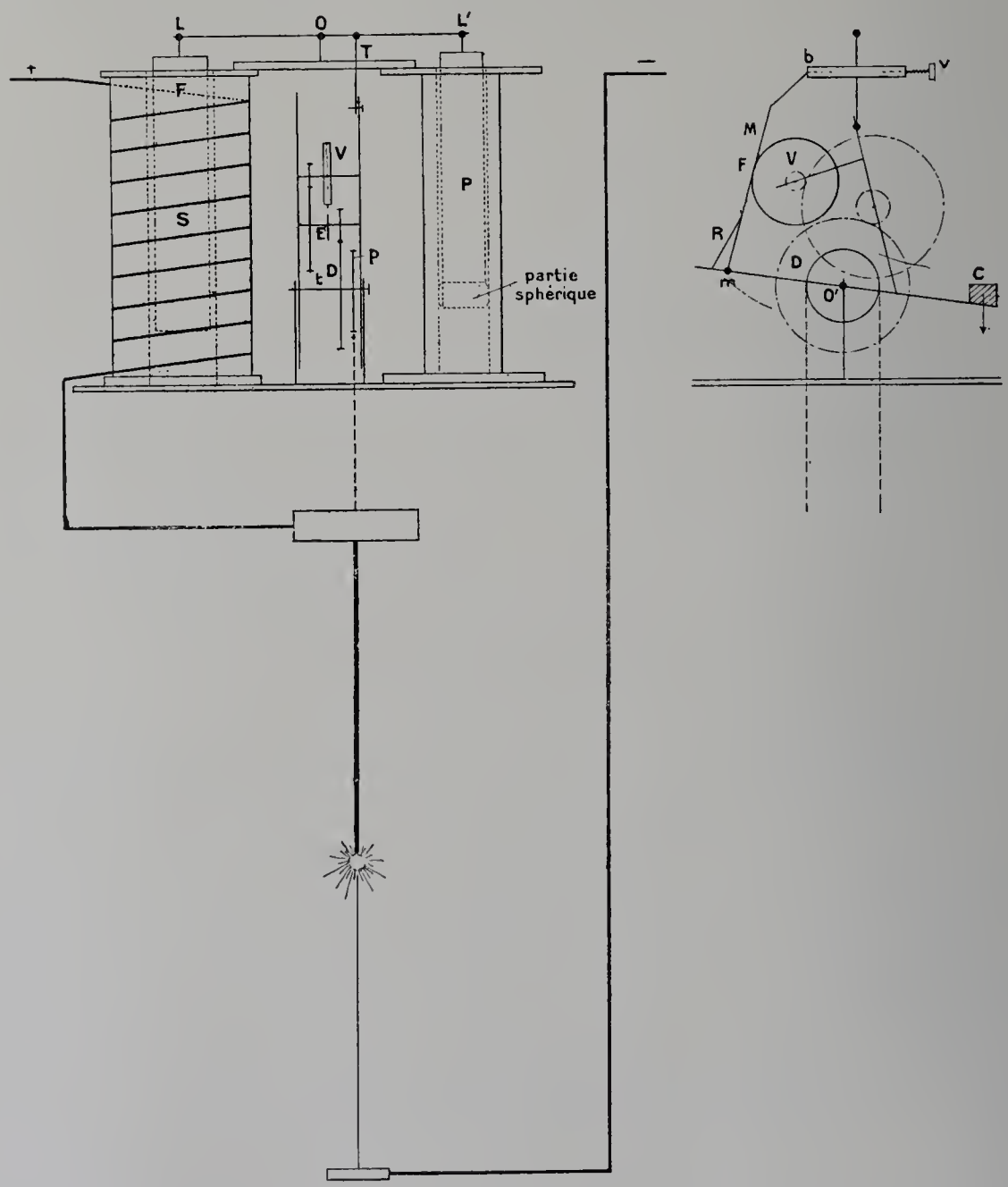


Fig. 30. (Lampe Hélios.)

Ce noyau est articulé à un levier double L L', oscillant en son milieu O. A l'autre extrémité L' est articulée la tige du piston amortisseur P; la partie inférieure de ce piston

est sphérique, pour éviter les coincements qui pourraient se produire dans les oscillations de levier LL′.

Par l'intermédiaire de la tige T, ce levier commande la platine sur laquelle sont montés tous les rouages du mouvement d'horlogerie et qui peut osciller autour de l'axe de la roue D, sur laquelle s'enroulent les cordons des porte-charbons; normalement, le dernier de ces rouages V est arrêté par un frein F, qui est maintenu pressé par le ressort R.

A l'allumage, les charbons sont au contact; un courant intense traverse le solénoïde S; tout le système bascule autour du point O′, le frein restant serré; les charbons sont ainsi écartés.

A mesure que les charbons s'usent, l'attraction du solénoïde S diminue peu à peu, le système bascule en sens inverse et les charbons se rapprochent; il arrive un moment où le frein F vient buter contre l'appui fixe *b*; à ce moment, le frein se desserre et le défilage des charbons se produit

LAMPE BARDON. (FRANCE.)

(Premier modèle. Différentielle, frein, fig. 31, p. 380.)

La lampe Bardon se compose essentiellement d'un solénoïde B enroulé en différentiel et comprenant un noyau fixe N et un noyau mobile N′.

Le noyau N′ commande à la fois le levier porte-frein AC mobile autour du point fixe A, et, par l'intermédiaire du bras CO′, un autre levier *mn* mobile autour du point fixe O. A ces deux extrémités *m* et *n* de ce levier sont fixés les deux bouts d'un cordon qui passe sur les deux petites poulies *p* et *p′* et sur le volant V; à la poulie *p* est fixé le porte-charbon supérieur, à la poulie *p′* le porte-charbon inférieur.

A l'allumage, les deux charbons sont en contact, un courant intense traversant le solénoïde série, le noyau N′ est soulevé; ce mouvement entraîne la poulie *p* vers le haut, la poulie *p′* vers le bas, le volant V tournant d'un petit angle; l'arc est ainsi amorcé; mais ce mouvement est limité par le frein K qui vient buter contre le volant V en l'immobilisant.

Lorsque les charbons s'usent, l'intensité tend à diminuer et la différence de potentiel à augmenter; sous cette double influence, le noyau N′ s'abaisse peu à peu, le frein K se desserre et le défilage des charbons s'effectue.

Un autre modèle (fig. 32) est fondé sur un principe tout à fait analogue; il est destiné aux lampes de construction plus robuste.

LAMPE BARDON.

(Deuxième modèle. Différentielle, frein, fig. 33, p. 381.)

Nous avons déjà signalé l'importance du mouvement de recul dans les lampes destinées à fonctionner sans résistance ou avec une très petite résistance en série. La lampe Bardon à recul dérive de la lampe précédemment décrite.

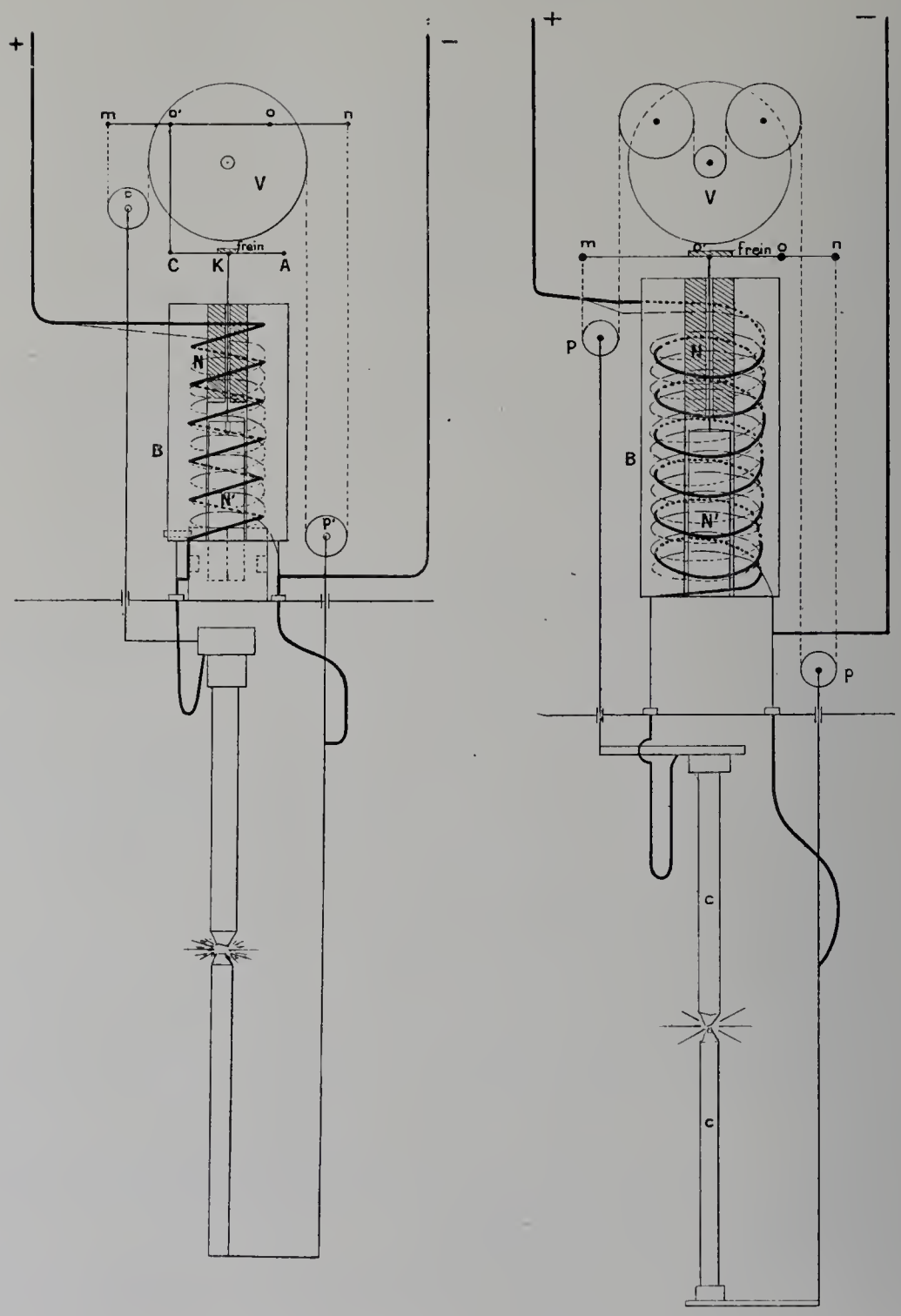


Fig. 31 et 32. (Lampes Bardon.)

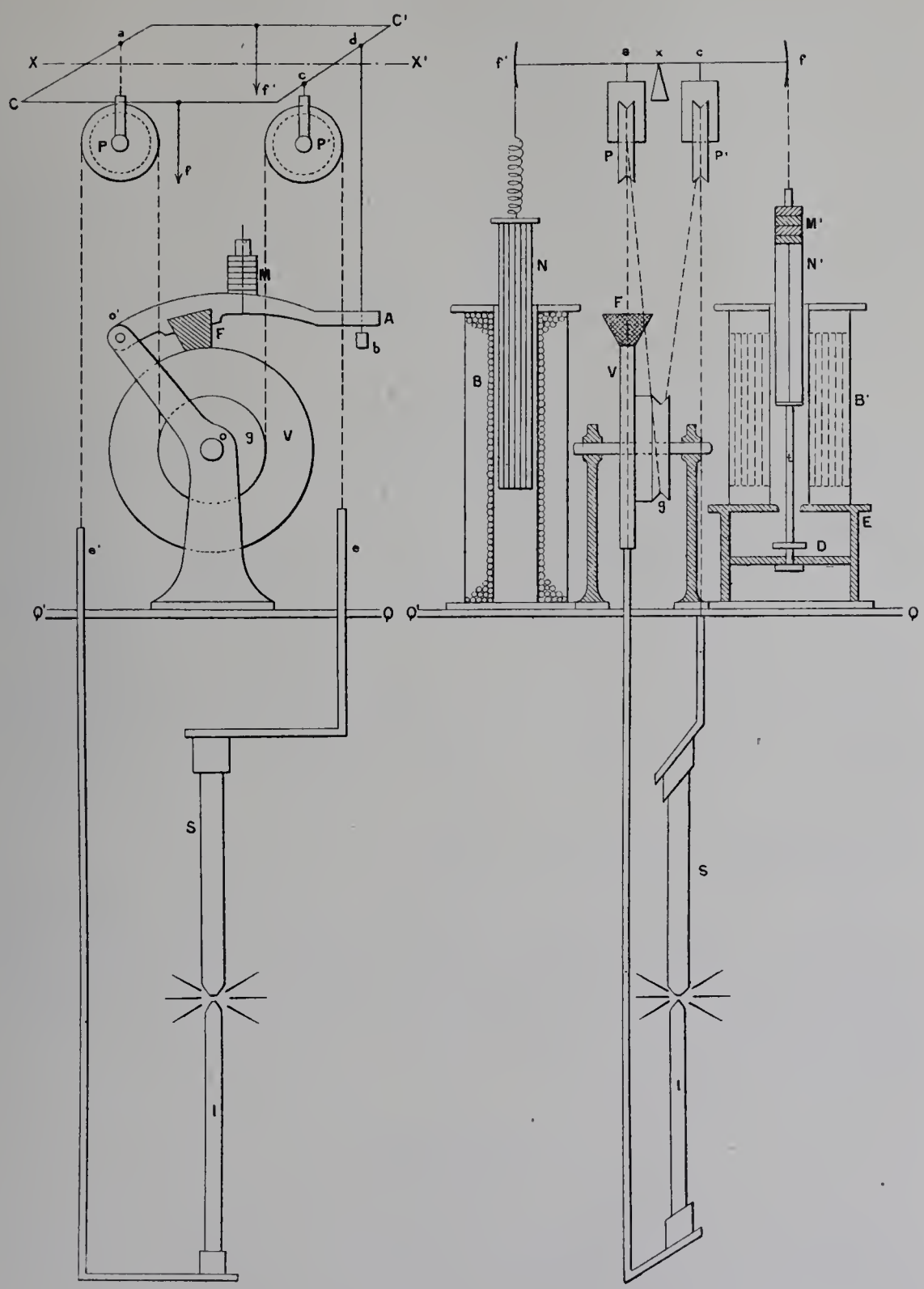


Fig. 33. (Lampe Bardon.)

Un cadre CC′ peut osciller autour de l'axe XX′; ce cadre est sollicité par les deux forces *f* et *f′* agissant sur les côtés parallèles à l'axe et provenant des deux noyaux N et N′ des solénoïdes en série et en dérivation.

Aux deux autres côtés de ce cadre et de part et d'autre de l'axe XX' sont suspendues, en *a* et *c*, deux petites poulies P et P′. Les deux porte-charbons sont réunis par un cordon qui passe sur les poulies P et P′ et sur la poulie *g* commandée par le volant V; c'est ce volant qui est soumis à l'action du frein F, et ce frein F lui-même est porté par un levier A; un poids M réglable assure, en temps normal, une pression suffisante du frein.

Le levier A peut être soulevé par une butée *b* suspendue à un fil *db* qui, lui-même, est fixé au point *d* du cadre.

Allumage. — Lorsque le courant est envoyé dans la lampe, le solénoïde B, monté en série, attire le noyau N, et le cadre bascule dans le sens *f′*; la butée *b* abandonne le levier O′A, et le sabot F vient bloquer le volant V. Le cadre continuant à basculer, le galet P s'abaisse tandis que le galet P′ s'élève; les charbons se séparent et l'arc jaillit: mais sa longueur est supérieure à celle qu'il doit avoir normalement; ce résultat a été recherché pour éviter que le courant ne prenne une valeur trop élevée lors de l'allumage, car, lorsque les charbons sont froids, l'arc est plus long pour une même chute de tension aux crayons.

Lorsque les pointes se sont échauffées, la tension aux bornes de la lampe tend à s'élever, le solénoïde B′ attire le noyau N′ et peu à peu la longueur de l'arc diminue.

A mesure que les charbons s'usent, cet effet se fait sentir de plus en plus; il arrive un moment où la butée *b* vient soulever le frein O′A.

Réglage. — Lorsque la pression exercée par le sabot du frein F sur le volant V est assez affaiblie, le poids du porte-charbon supérieur entraîne ce volant, et les deux charbons se raprochent; mais aussitôt, l'intensité augmentant, le frein F vient de nouveau bloquer le volant N, et même, s'il est nécessaire, un mouvement de recul se produit par oscillation du cadre autour de son axe.

LAMPE BARDON.

(Modèle pour courants alternatifs. Frein, dérivation, fig. 34.)

Le principe de cette lampe rappelle beaucoup celui des précédentes : l'examen de la figure suffit pour le faire comprendre; notons seulement la présence d'un ressort *antivibrateur* servant à faire la liaison entre le noyau N et son point d'attache *m* au levier supérieur; cette lampe est montée en série avec une petite bobine de réaction, et, dans le cas où l'on veut en faire fonctionner une ou deux seulement sur 110 volts, on intercale un transformateur.

Ces bobines et ces transformateurs sont également construits par M. Bardon.

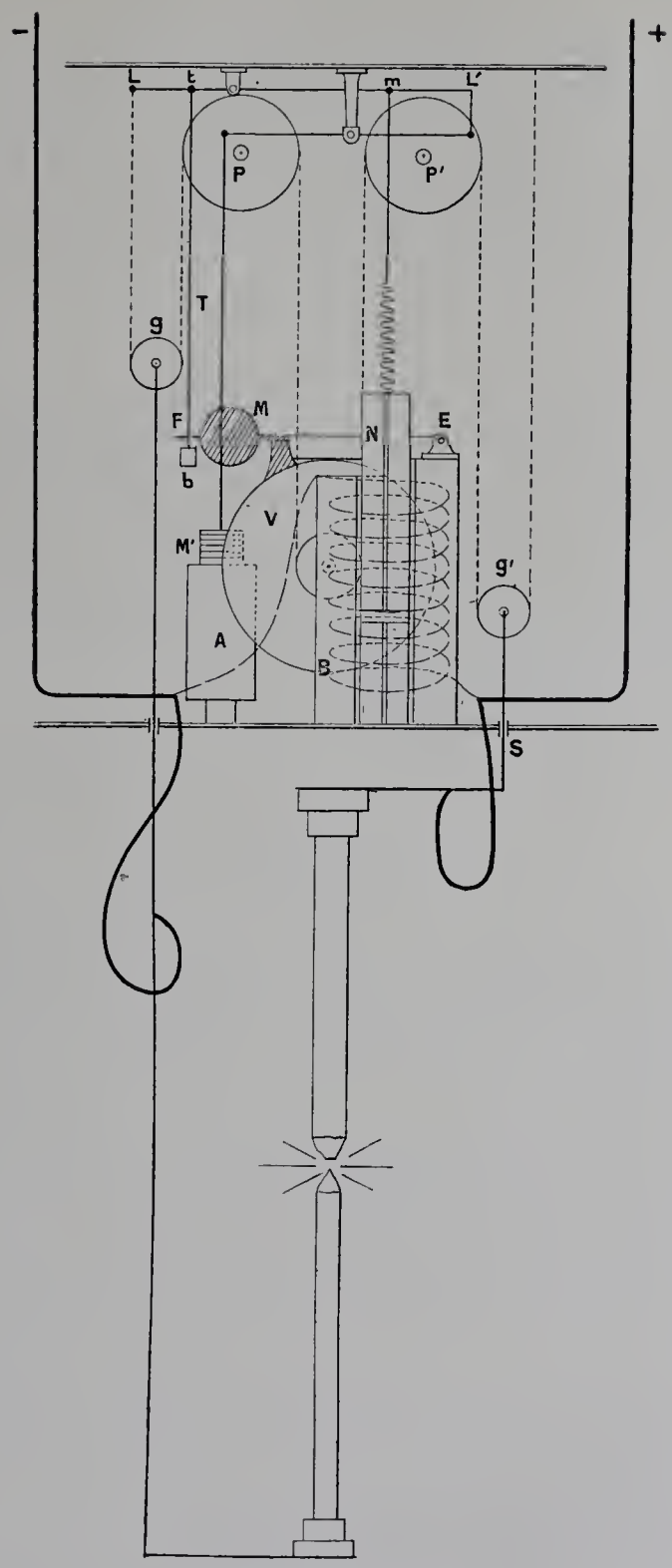


Fig. 34. (Lampe Bardon.)

LAMPE THURY. (SUISSE.)

(Frein, différentielle ou série.)

La lampe Thury, qui était exposée par M. H. Guenod, ingénieur-constructeur à Genève, est une lampe à frein en série (ou différentielle). Le point original de cette

lampe est que l'électro ordinaire est remplacé par un véritable moteur à courant continu; mais ce moteur est dépourvu de collecteur et peut, par conséquent, faire au maximum un quart de tour. Les porte-charbons sont, comme toujours, suspendus à deux cordelettes qui viennent s'enrouler en sens inverse sur deux galets montés sur un même axe; sur cet axe également se trouve montée une poulie à gorge sur laquelle s'enroule une troisième cordelette qui servira de frein. Une des extrémités de cette cordelette est fixée à l'arbre du moteur, l'autre au bâti de la lampe, mais par l'intermédiaire d'un ressort convenablement choisi.

Allumage. — Les charbons sont toujours au contact avant l'allumage; quand on ferme le circuit, le courant atteint une grande valeur, l'armature tourne d'un quart de tour, en tendant d'abord le ressort, puis en entraînant la poulie et l'axe des galets par frottement; l'arc est amorcé.

Réglage. — Lorsque l'intensité du courant baisse, l'armature revient peu à peu sur elle-même sous l'influence du ressort, puis il arrive un moment où, le frein se desserrant, les charbons se rapprochent.

Les mouvements d'oscillation sont empêchés comme toujours par un amortisseur à air.

LAMPES VIGREUX ET BRILLIE. (FRANCE.)

(Frein, différentielle.)

MM. Vigreux et Brillié exposaient deux types principaux de lampes, tous deux différentiels: le premier (modèle B) se prête à l'éclairage par deux lampes en série sous 110 volts, avec rhéostat; le second (modèle A), à l'éclairage par trois lampes en série sous 110 volts sans rhéostat.

1° *Modèle B. — Différentielle. Deux en série sous 110 avec rhéostat* (fig. 35). — Dans cette lampe, le poids du porte-charbon supérieur est moteur; ce porte-charbon est suspendu à une chaîne qui vient s'enrouler sur un tambour A, posé sur son axe; ce tambour entraîne, au moyen d'une roue à rochet et d'un cliquet C qui facilite le remplacement des charbons, une série de mobiles dont le dernier arbre porte un petit volant V.

Les axes de toutes ces roues sont montés sur deux platines pouvant osciller autour des couteaux de balance D, lesquels reposent sur des appuis fixes.

Ces platines supportent en outre :

1° Une armature R en fer sollicité par un électro E;

2° Un ou plusieurs ressorts S agissant de l'autre côté de l'arbre et contre-balançant l'action de l'électro;

3° L'axe d'une bielle commandant un amortisseur à air T.

Si, pour un instant, nous supposons le volant calé, nous voyons que la lampe se compose essentiellement d'une balance très sensible qui est maintenue en équilibre entre l'action des ressorts antagonistes, le poids des pièces et l'action de l'électro-aimant. Cet électro porte un enroulement différentiel.

Le frein est disposé de la manière suivante : une lame flexible L (ressort) vient appuyer contre la jante du volant V ; cette lame est portée à l'extrémité d'une tige articulée en E, F, G. Le point E est fixe et indépendant des platines ; le point G est fixe sur les platines ; le point F est libre ; dans ces conditions, on voit que si l'armature R est attirée, le volant V s'éloigne du frein L et peut ainsi librement défiler.

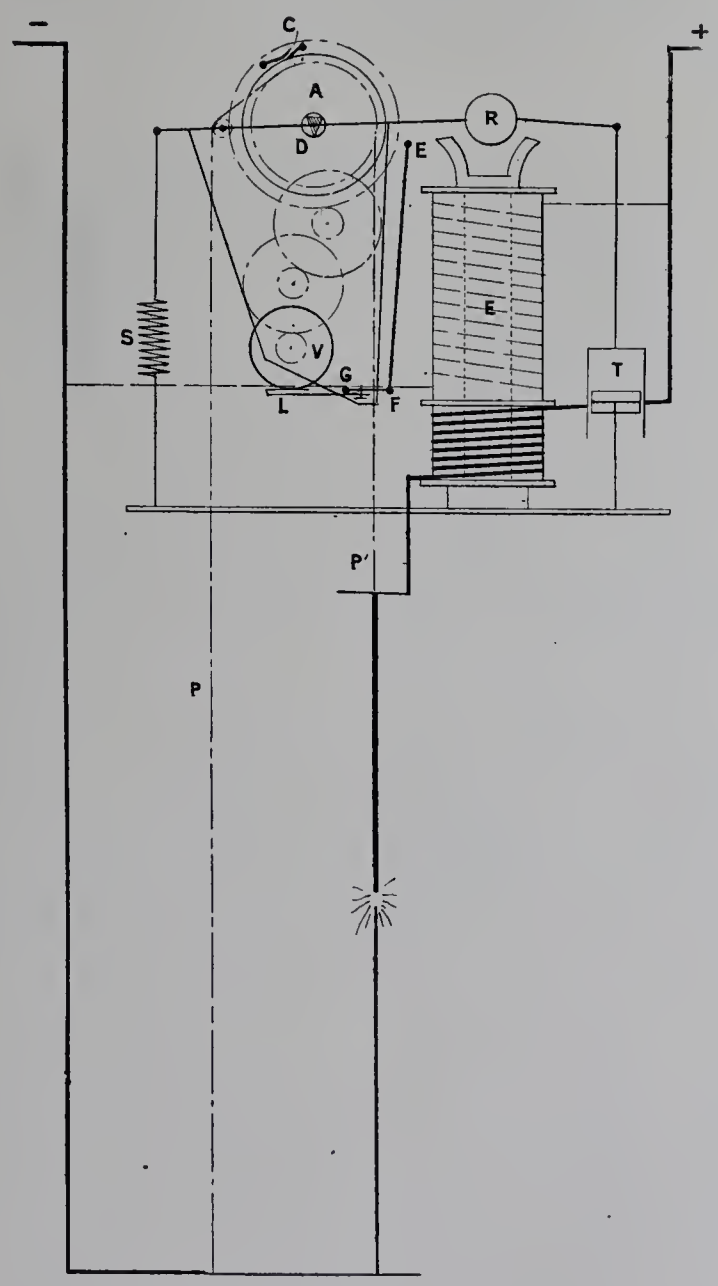


Fig. 35. (Lampes Vigreux et Brillié.)

Allumage. — Au repos, l'armature R est soulevée par le ressort S, le frein est serré et les charbons sont écartés. A l'allumage, l'armature est attirée, la balance oscille, provoque le rapprochement des charbons et le desserrage du frein ; dès que les charbons arrivent au contact, l'attraction de l'électro diminue, le ressort antagoniste rappelle la balance en provoquant le serrage du frein et l'écartement des charbons, l'arc est amorcé.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Réglage. — Pendant le fonctionnement, la différence de potentiel augmentant et le courant diminuant, l'armature R est de nouveau attirée; les charbons se rapprochent, d'abord par oscillation de la balance, et ensuite par desserrage du frein.

2° *Modèle A. — Différentielle. Trois lampes en série sous 110 volts sans rhéostat* (fig. 36). — Cette lampe est une des plus intéressantes que nous ayons examinées par les détails de son mécanisme.

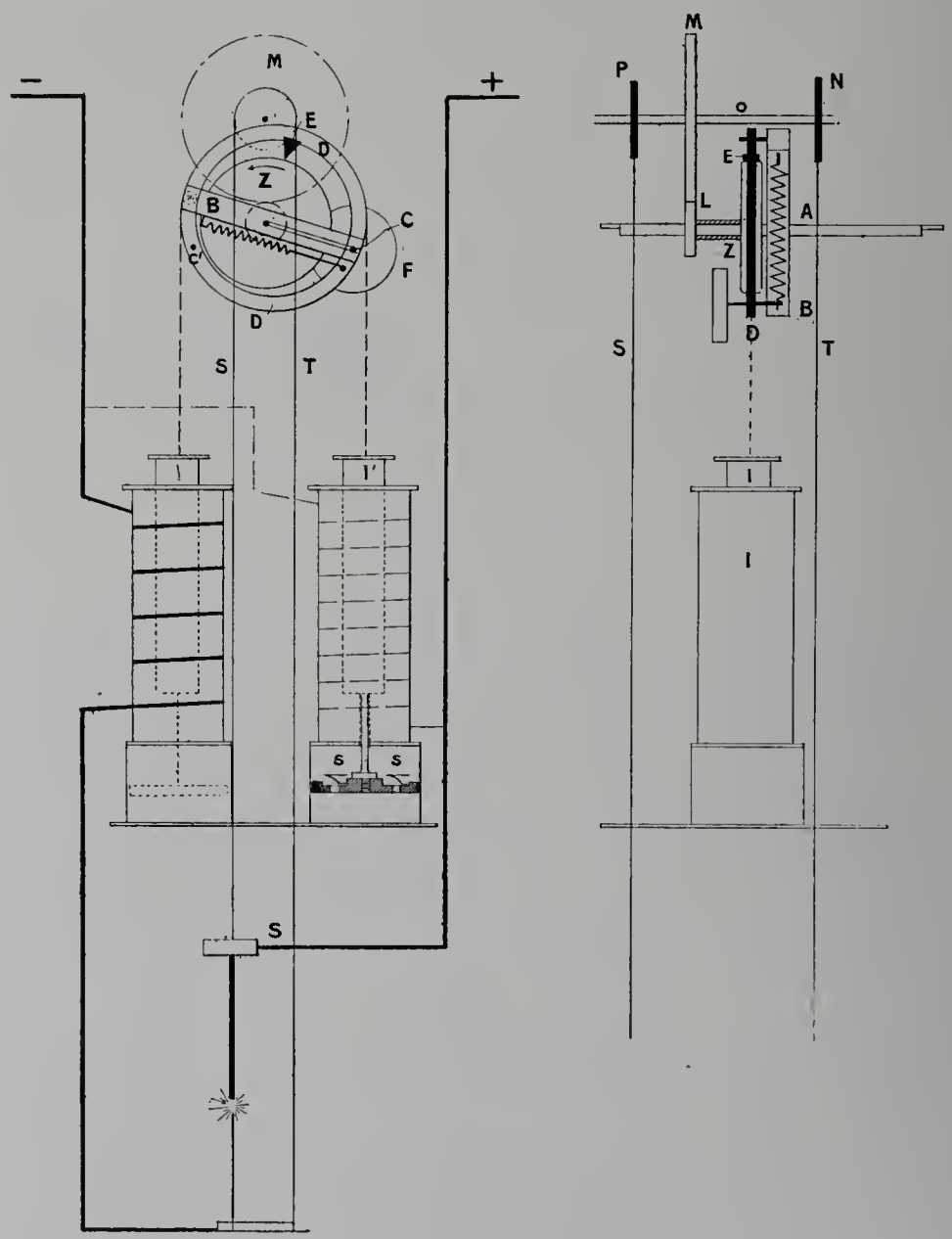


Fig. 36.

Elle est caractérisée : 1° par l'emploi d'un mouvement de recul à la fois très énergique et très amorti qui assure la stabilité de l'arc, même avec très peu de résistance en série;

2° par un amortissement dissymétrique qui agit très fortement sur les mouvements de recul, et n'agit que peu ou pas sur les mouvements de rapprochement;

3° par une variation très régulière et très lente du frein en fonction de la position des

noyaux dans les bobines; ce frein est mobile autour de l'axe même du volant sur lequel il doit agir.

Le poids du charbon supérieur tend à faire tourner (par l'intermédiaire d'un engrenage) le volant Z dans le sens de la flèche; pour cela, les deux charbons sont suspendus à deux cordelettes S et T qui s'enroulent en sens inverse sur deux poulies P et N de diamètres égaux ou différents, suivant les vitesses relatives que l'on veut donner aux deux charbons; ces deux poulies sont montées sur un arbre O qui entraîne, au moyen de l'engrenage M et du pignon L, le volant Z.

Le volant Z pivote librement sur l'arbre A auquel est fixée une tige B supportant l'axe d'oscillation C d'un cercle D : c'est ce cercle D qui porte le frein E. Sur le cercle D s'enroulent deux brins supportant les noyaux des solénoïdes placés l'un en dérivation, l'autre en série sur l'arc.

Une cataracte, placée du côté du solénoïde en dérivation, empêche les mouvements brusques du système; ainsi qu'il a été dit, cette cataracte est dissymétrique : des soupapes S permettent, comme il est facile de le voir, les mouvements brusques de descente (qui correspondent à un rapprochement des charbons) et empêchent les mouvements brusques de montée (qui correspondent à un écartement).

La charge du noyau dérivation est supérieure à celle du noyau série, en sorte que, au repos, celui-ci est maintenu soulevé et le frein est desserré; les charbons sont alors au contact.

Lorsqu'on ferme le circuit, le noyau I est attiré et fait tourner le cercle D vers la gauche; l'axe C s'éloigne de plus en plus à droite de la verticale, et le frein se serre progressivement; lorsque ce serrage est suffisant, l'adhérence se produit entre le cercle D et le volant Z, et le tout peut basculer autour de l'axe de l'arbre A qui est monté sur couteaux de balance; à partir de ce moment, l'ensemble du cercle D et du volant Z peut être considéré comme un solide invariable, et le serrage du frein augmente progressivement à mesure que le point E s'écarte de la verticale. Pendant ce mouvement, les charbons s'écartent et l'arc s'allume.

La stabilité de l'arc est assurée, même sur un circuit très peu résistant, par la bobine série; si, en effet, pour une raison quelconque, il se produisait une petite augmentation d'intensité, la bobine série produit immédiatement un allongement corrélatif de l'arc. Ce rôle de la bobine série pour favoriser la stabilité de l'arc est bien prouvé par l'expérience suivante : nous avons monté une seule lampe sur un circuit de résistance très faible et sous une tension de 40 volts environ; si on saisit entre les doigts le noyau de la bobine série, et qu'on l'immobilise, on obtient dans un grand nombre de cas un courant *indéfiniment croissant,* et qui prendrait bien vite une valeur dangereuse si on ne coupait pas le circuit.

Dans la marche normale, à mesure que les charbons s'usent, le noyau I sort peu à peu du solénoïde série (l'intensité restant sensiblement constante), et, en même temps, le frein se desserre progressivement; il arrive bientôt un moment où il y a défilage du volant Z, puis le réglage continue ainsi à s'effectuer soit par oscillation de l'arbre A sur

ses couteaux, soit par défilages successifs. Le ressort fixé en B n'a qu'un rôle accessoire, celui de modifier la position où le défilage commence.

On voit que l'appareil règle surtout par son solénoïde série, en sorte que, pour une seule lampe sur 35 à 40 volts, le noyau du solénoïde dérivation ne joue aucun rôle et pourrait être remplacé par un simple contrepoids. Au contraire, dans la marche par deux ou trois en tension, ce solénoïde est indispensable pour égaliser les potentiels des trois lampes. Si on essaie de le supprimer, l'une des trois lampes se met bientôt au collage, l'*intensité restant constante.*

3° *Modèle A à deux paires de charbons.* — Ce modèle a pour but soit de doubler la durée de l'éclairage en faisant brûler successivement deux paires de charbons qui se substituent automatiquement l'un à l'autre, soit, en conservant la même durée d'éclairage, d'employer des charbons d'un diamètre plus petit, ce qui, on le sait, améliore beaucoup le rendement lumineux de l'arc.

Le principe de ce régulateur est le suivant : un seul et même organe de réglage, tout à fait identique à celui que nous avons décrit plus haut, peut être mis en relation successivement avec les deux paires de charbon; pour cela, le dernier mobile M du système régulateur est remplacé par une roue d'angle, ou engrenage satellite, s'engrenant avec deux autres rouages P et Q fous sur l'arbre, et commandant respectivement les deux paires de charbon; ces rouages P et Q peuvent être immobilisés par des cliquets; si la roue P est immobilisée, c'est la roue Q qui est sous la dépendance du réglage, et les charbons correspondants qui fonctionnent; lorsque ces charbons sont consumés, un doigt, porté par le porte-charbon supérieur, vient entraîner une tige verticale, laquelle opère un déclenchement de l'arbre qui porte les cliquets; les rôles s'inversent, la roue Q est immobilisée, et les charbons neufs, correspondant à la roue P, commencent à s'allumer. Différents dispositifs ingénieux assurent la sécurité de cette manœuvre.

III. LAMPE À DÉCLENCHEMENT.

LAMPE DE L'ALLGEMEINE ELEKTRICITÄTS GESELLSCHAFT. (ALLEMAGNE.)

(Déclenchement, dérivation, fig. 37.)

Un électro E formé de deux branches est enroulé en dérivation aux bornes de la lampe; les noyaux en fer se terminent à la partie supérieure en forme de dent de scie. L'armature A composée d'un parallélépipède de fer doux est fixée à l'extrémité d'un levier double LOL oscillant en O.

Ce levier, formé de deux platines réunies par des entretoises, porte l'axe o' d'un tambour; cet axe est excentré par rapport à O pour compenser les différences des poids du porte-charbon + et —.

Par un dispositif très simple, roue dentée fixée au tambour et cliquet, le tambour B entraîne une roue dentée D folle sur son axe.

Cette commande permet d'écarter les porte-charbons à la main sans entraîner la roue dentée D.

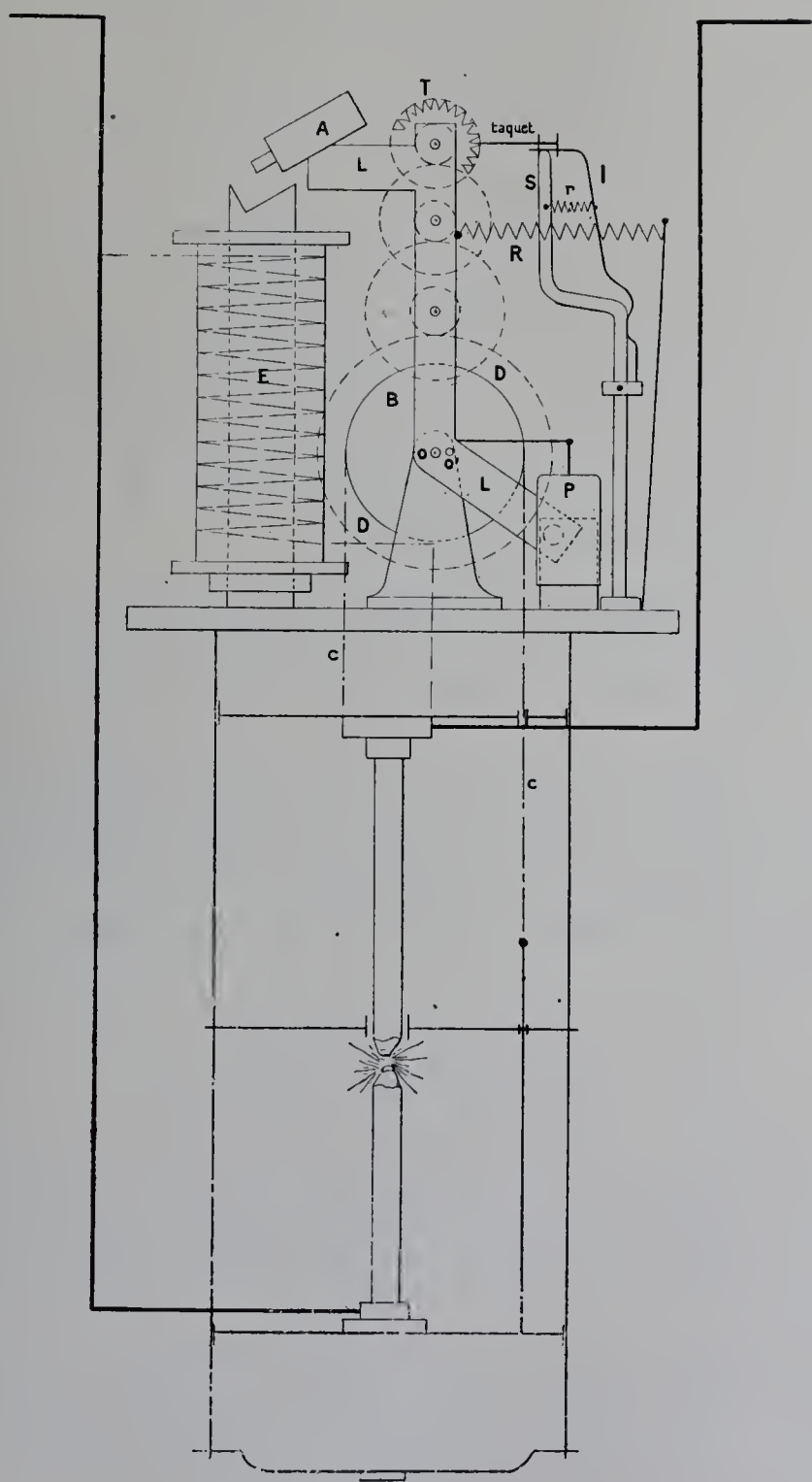


Fig. 37. (Lampe de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft.)

La roue dentée commande une série de mobiles d'horlogerie amplificateurs se terminant par une roue à ailettes T; tout ce système est fixé au levier LoL′ et mobile avec lui.

Le mouvement de rotation de la roue à ailettes peut être arrêté par l'extrémité d'un levier *l* oscillant en *o''*; ce levier est appuyé sur un support fixe S par un petit ressort *r*.

Ce dispositif est adopté pour que la roue à ailettes puisse tourner en sens inverse du mouvement de réglage de la lampe si, lorsqu'on écarte les porte-charbons à la main, le cliquet venait à fixer trop fortement l'engrenage au tambour.

Les deux porte-charbons sont réunis par une chaîne C passant sur le tambour. Le porte-charbon + forme le poids moteur.

Un ressort R tend à faire équilibre à la force magnétique de l'électro; il appuie la roue à ailettes sur le taquet quand la lampe est hors circuit.

Le levier L actionne le cylindre d'un amortisseur à air P.

Un dispositif spécial permet le retour rapide du levier L. (Un circuit enroulé sur l'électro doit se fermer par l'intermédiaire de la roue à ailettes et du taquet; quand celle-ci ne touche plus le taquet, la section est hors circuit, l'attraction de l'électro est beaucoup moindre et le ressort rappelle vivement le levier L en arrière.) De petites tiges *t* fixées à l'armature empêchent l'adhérence.

Allumage. — La lampe hors circuit, les charbons sont écartés. A sa mise en circuit, l'armature est vivement attirée; les charbons viennent au contact; la différence de potentiel devenant très faible, le levier est rappelé par le ressort en provoquant l'écart d'allumage.

Réglage. — La différence de potentiel entre les deux charbons augmente par l'usure des charbons; l'attraction de l'électro augmente; les charbons se rapprochent d'abord par l'oscillation du levier; puis, l'écart augmentant, le déclenchement se produit par petits à-coups opérant le rapprochement des charbons et maintenant la différence de potentiel normale.

LAMPE BRIANNE. (FRANCE.)

(Déclenchement, dérivation, fig. 38.)

La lampe Brianne, exposée par *MM. Bisson, Bergès* et *Cie*, est particulièrement connue par son application aux courants alternatifs; nous la rangeons dans la classe des lampes à mouvement d'horlogerie, bien qu'ici le mouvement soit réduit à sa plus simple expression.

La lampe Brianne se compose d'un solénoïde enroulé en dérivation aux bornes de l'arc. Un méplat feuilleté M est attiré par ce solénoïde, et s'enfonce d'une plus ou moins grande longueur, selon la valeur de la différence de potentiel aux bornes. Ce méplat en fer doux commande par un levier un secteur denté D.

Sur un même axe sont montées concentriquement deux roues dentées solidaires l'une de l'autre; l'une de grand diamètre A, dont les dents, au repos, sont en prise avec celles du secteur; l'autre de petit diamètre *a*, qui engrène avec une crémaillère C formant le porte-charbon positif; ce porte-charbon forme le poids moteur; le charbon négatif est fixe.

Un amortisseur N est relié au secteur commandant la roue dentée; d'autre part, un volant de grande masse est relié à l'engrenage de grand diamètre pour empêcher, par son inertie, tout mouvement brusque.

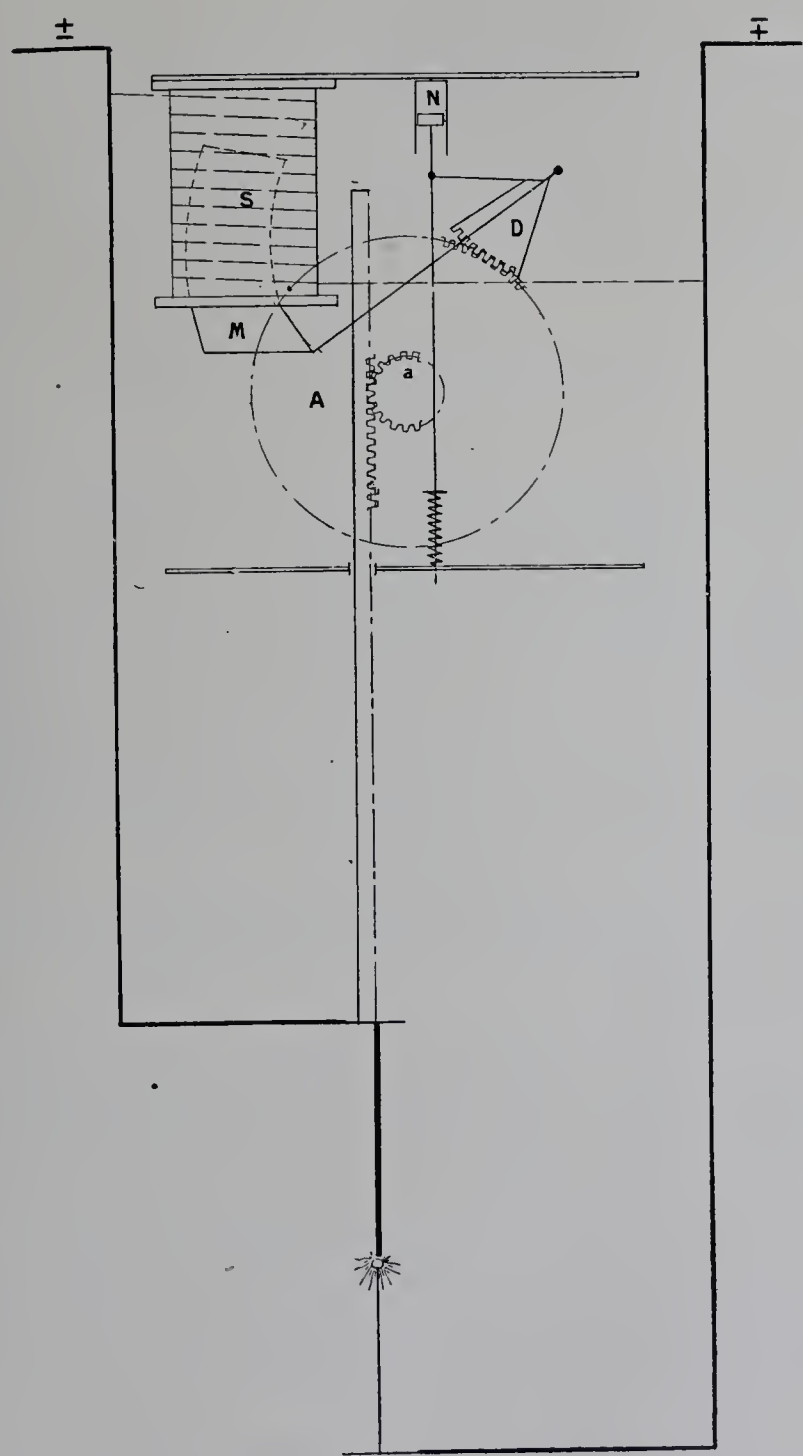


Fig. 38. (Lampe Brianne.)

Allumage. — La lampe étant au repos, les charbons sont écartés, tout mouvement de rapprochement étant empêché par les dents du secteur denté; quand on ferme le courant, la différence de potentiel étant maxima aux bornes de l'arc, le méplat est

brusquement attiré et laisse rapprocher les charbons jusqu'au contact; mais aussitôt le méplat retombe, en provoquant, par l'intermédiaire du secteur denté, l'écart d'allumage.

Réglage. — Lorsque la différence de potentiel augmente aux bornes de l'arc, le méplat est de plus en plus attiré et, par l'intermédiaire du secteur, rapproche les charbons jusqu'au moment où, les dents du secteur n'étant plus en prise avec celles de l'engrenage, celui-ci peut défiler de plusieurs dents; mais ce mouvement est aussitôt arrêté par le secteur denté qui retombe avec le méplat. Le réglage se continue de la sorte par degrés presque insensibles.

LAMPE COMBIER ET DUFLOS. (FRANCE.)

(Déclenchement, dérivation, fig. 39.)

A l'intérieur d'un solénoïde S, monté en dérivation, peut se déplacer un méplat feuilleté M en fer doux. Ce méplat commande, par une série de leviers L, un cadre C qui peut osciller autour d'un axe O placé en son milieu.

Ce cadre porte une petite roue à dents D engrenant avec une roue de grand diamètre E folle sur l'axe.

Sur la poulie concentrique à l'engrenage E vient s'enrouler la chaîne des porte-charbons P.

Le porte-charbon supérieur forme le poids moteur; cette même chaîne vient passer sur un galet *g*.

En général, le mouvement de tout le système est empêché par un cliquet C à axe fixe, qui vient s'engager entre les dents de la roue D; ces dents sont très prononcées et ressemblent à des palettes.

Allumage. — A l'allumage, les charbons sont écartés; quand on ferme le circuit, la différence de potentiel étant maxima aux bornes de la lampe, le méplat est brusquement attiré, le cadre bascule en éloignant la roue dentée du cliquet; les charbons sont rendus libres et se rapprochent.

Lorsqu'ils sont arrivés au contact, l'intensité du courant diminue dans la bobine et dérivation, le méplat retombe en engageant la roue dentée dans le cliquet, et en même temps en éloignant les deux charbons d'une petite quantité par l'oscillation du cadre autour de l'axe O; cet écart provoque l'allumage.

Réglage. — La différence de potentiel aux bornes de l'axe augmente par suite de l'usure; le méplat s'enfonce de plus en plus dans le solénoïde en faisant basculer le cadre et en rapprochant les charbons, jusqu'au moment où le cliquet laisse échapper la roue dentée d'une ou de deux dents.

La même lampe peut servir en courant continu ou en courant alternatif par un simple changement de la bobine.

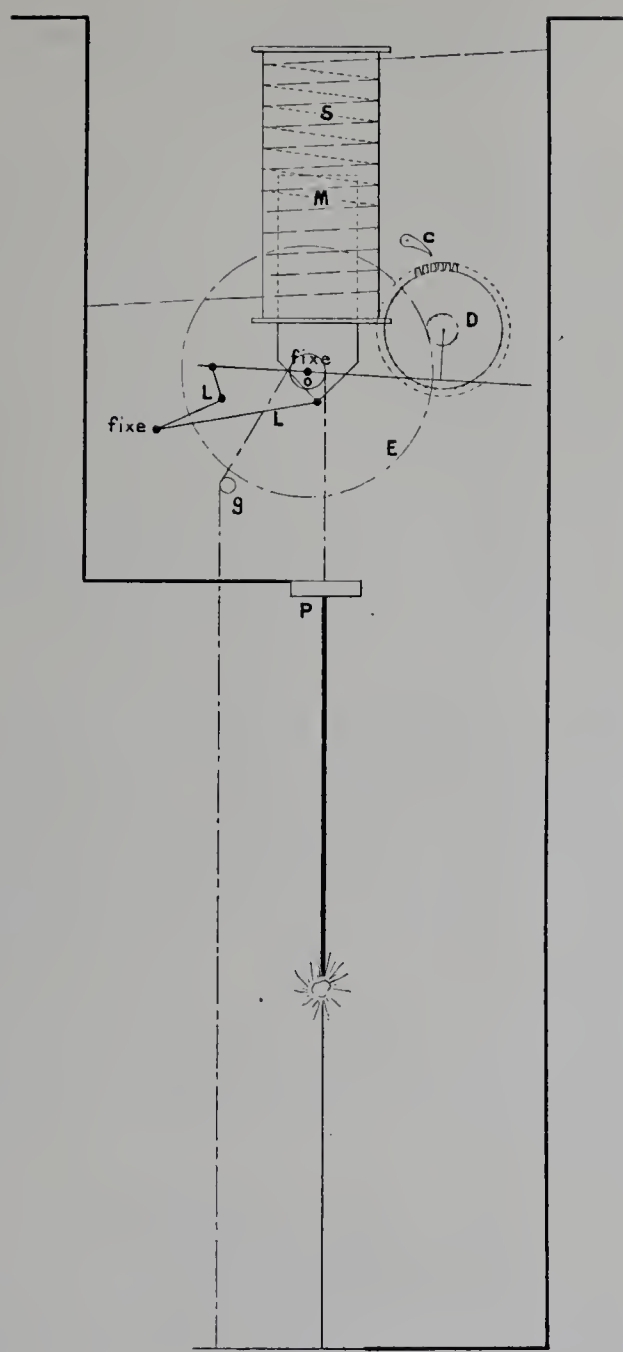


Fig. 39. (Lampe Combier et Duflos.)

LAMPE DE LA SOCIÉTÉ «LES FILS D'ADOLPHE MOUGIN». (FRANCE.)

(Mouvement d'horlogerie, déclenchement, dérivation.)

Cette lampe contient un électro d'allumage en série et un électro de réglage en dérivation ; l'ensemble des rouages du mouvement d'horlogerie aboutit à une étoile sur laquelle agit un échappement commandé par l'électro en dérivation; une description plus détaillée serait superflue. Cette lampe a pour caractère spécial de fonctionner dans toutes les positions ; quatre lampes, montées en ailes de moulin à vent, étaient exposées pour mettre en évidence cette propriété.

LAMPE GRAMME. (FRANCE.)

(Déclenchement, dérivation.)

La lampe Gramme est du type en dérivation. Le charbon supérieur fixé à une crémaillère est mobile; cette crémaillère engrène avec un pignon qui actionne, par une série d'engrenages, un amortisseur à ailettes; sur le même axe que cet amortisseur se trouve une roue en étoile; deux électros, montés en dérivation, agissent sur une armature portant un butoir qui vient arrêter ou dégager cette roue.

Deux autres électros, montés en série à recul fixe, abaissent le charbon inférieur de la quantité nécessaire pour produire l'arc.

Au moment de l'allumage, si les charbons ne sont pas en contact, les électros en dérivation attirent leur armature; la roue à étoile se trouve dégagée et la crémaillère agissant par son poids rapproche les charbons. Lorsque ceux-ci viennent en contact, l'action des électros en dérivation cesse, les électros en série écartent le charbon inférieur et l'arc se produit.

Lorsque la longueur de l'arc augmente, les électros en dérivation agissent de nouveau pour rapprocher les charbons; afin que ce mouvement soit très lent, chaque fois que les électros en dérivation attirent leurs armatures, le courant dans ces électros se trouve coupé et leur action cesse; les lampes sont réglées de telle façon que, à chaque oscillation de l'armature, la roue étoile avance d'une dent; le rapprochement des charbons à chaque mouvement est ainsi très faible et s'opère progressivement sans provoquer de variation de lumière.

Cette lampe se construit en trois modèles : l'un pour des intensités de 15 à 50 ampères, le second pour des intensités de 7 à 14 ampères, et le troisième pour des intensités au-dessous de 7 ampères.

LAMPE HANSEN. (ALLEMAGNE.)

(Déclenchement, dérivation, fig. 40.)

Cette lampe, exposée par la Société d'Électricité Hansen, est surtout appliquée aux faibles intensités (à partir de 100 bougies).

Le mécanisme de réglage se compose d'un électro-aimant E, en dérivation aux bornes de l'arc, muni d'un noyau de fer A; ce noyau, quand il est attiré, fait basculer autour de l'axe O toute la boîte du mouvement d'horlogerie B.

Les deux porte-charbons sont réunis par une chaîne qui passe sur un tambour T; sur l'axe de ce dernier se trouve monté l'engrenage principal qui commande une série de mobiles d'horlogerie. Le dernier mobile est une roue dentée *d*, qui communique un mouvement oscillatoire à une lame pendule *l* oscillant en O'. Cette dernière vient buter contre un arrêt fixe F placé à son extrémité inférieure et arrête ainsi tout mouvement de rapprochement des charbons en régime normal. Le porte-charbon positif forme le poids moteur. Un ressort R permet de régler la différence de potentiel aux

bornes de la lampe au régime de fonctionnement. Les mouvements brusques sont amortis par la pompe à air P. Les glissements du porte-charbon inférieur sont montés sur bille.

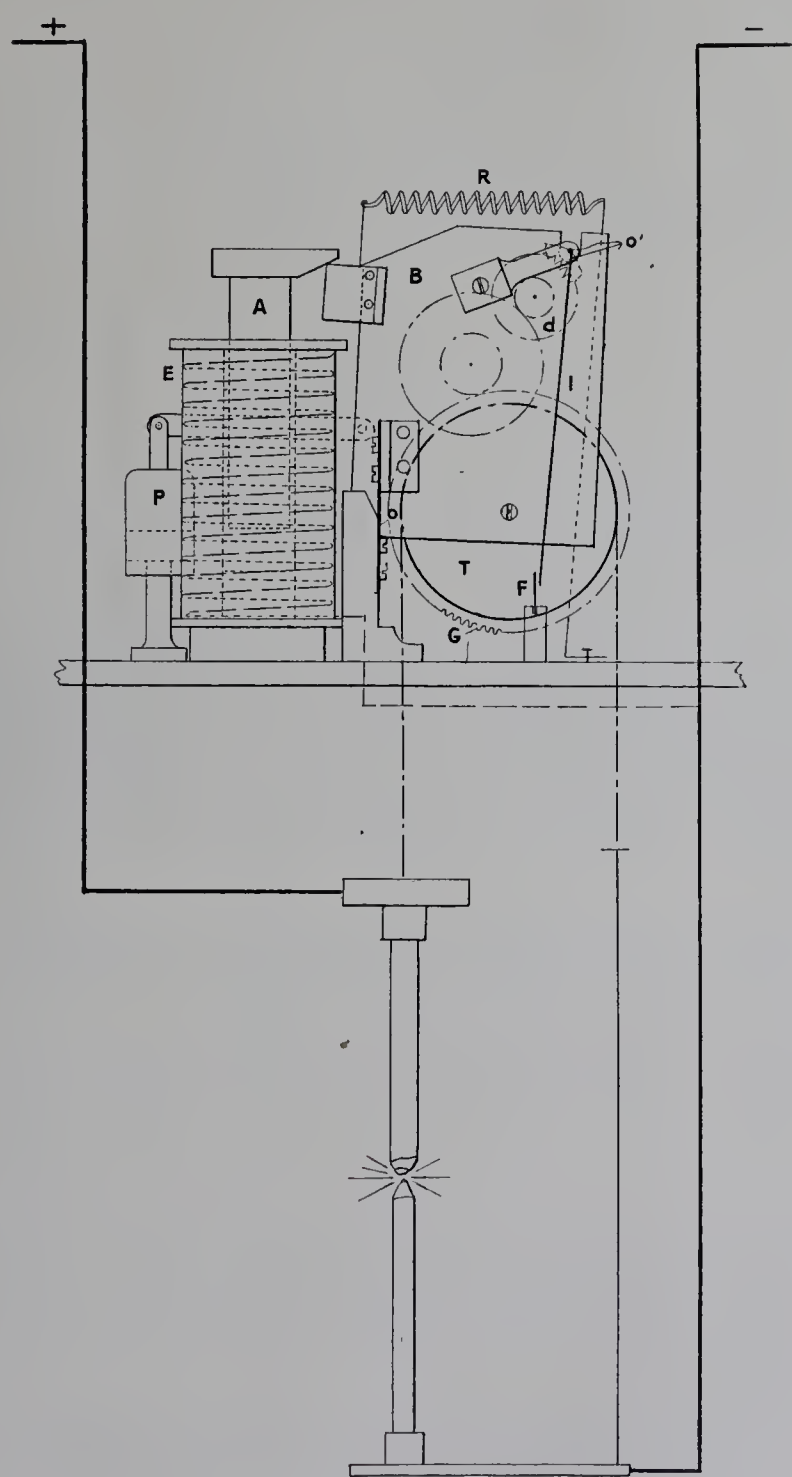


Fig. 40. (Lampe Hansen.)

Allumage. — Quand la lampe est hors circuit, les charbons sont écartés. Lorsqu'on ferme le courant, la différence de potentiel étant maxima aux bornes de la lampe, l'électro attire son armature; celle-ci entraîne dans son mouvement la boîte du mouve-

ment d'horlogerie qui bascule autour de l'axe O ; ce mouvement rapproche les charbons d'autant plus que le tambour T est excentré par rapport à l'axe O ; dès le contact, l'armature remonte, et, sous l'action du ressort R, la boîte bascule en sens inverse et écarte les charbons ; l'arc est amorcé.

Réglage. — Quand, par l'usure des charbons, la différence de potentiel augmente aux bornes de l'arc, l'attraction de l'électro sur son armature augmente, le mouvement d'horlogerie pivote peu à peu autour de l'axe O jusqu'à ce que le pendule *l*, étant dégagé, puisse effectuer quelques oscillations et permettre ainsi aux charbons de se rapprocher d'une petite quantité.

LAMPE DE LA SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES TÉLÉPHONES. (FRANCE.)

(Déclenchement, dérivation, fig. 41.)

L'organe principal du réglage de la lampe est le solénoïde S enroulé en dérivation aux bornes de la lampe et dans lequel peut se mouvoir verticalement le noyau de fer doux F.

Un tambour T est fou sur son axe horizontal O ; mais sur ce même axe est calée une roue à engrenages G ; deux ressorts *r*, *r'*, fixés sur la roue à engrenages, appuient sur le tambour assez énergiquement pour qu'aucun mouvement des charbons, dû seulement à l'excédent de poids du porte-charbon supérieur, ne soit possible si la roue à échappement est calée. Par contre, il est possible, cette dernière étant calée, de faire tourner le tambour et, par suite, de déplacer les charbons, si l'on agit sur les tringles avec la main.

Une cordelette *c* vient s'enrouler sur le tambour, passe sur les galets *g*, *g'*, *g''* et *g'''* et vient, d'une part, se fixer au porte-charbon supérieur et, de l'autre, à l'extrémité d'un levier L. Le porte-charbon inférieur est relié au galet *g'''*.

Le mouvement de la roue à engrenages est réglé par un balancier B oscillant en O'. Le mouvement de ce balancier peut être arrêté par un levier *l*, muni d'un contrepoids N.

Le noyau de fer doux F commande un levier L oscillant en O'', portant à l'autre extrémité une tige *t* et un ressort R tendant à équilibrer la force absorbante du solénoïde. La tige *t* porte une rondelle ou taquet *q* qui vient soulever le levier *l* lorsque le noyau F est attiré et permet ainsi le mouvement pendulaire du balancier et le rapprochement des charbons.

Allumage. — La lampe étant hors circuit, les charbons sont écartés. Le circuit étant fermé, le solénoïde attire brusquement le noyau en rapprochant d'abord directement les charbons par l'intermédiaire du levier L et libérant ensuite le balancier B.

Les charbons arrivés au contact, la différence de potentiel est faible aux bornes de l'arc ; le ressort rappelle le noyau F en amorçant et provoquant l'écart d'allumage de l'arc par l'effet du levier L. Le balancier est aussi calé.

Réglage. — Quand, par suite de l'usure ou toute autre cause accidentelle, la diffé-

rence de potentiel augmente aux bornes de l'arc, le noyau est attiré dans le solénoïde; le rapprochement a lieu d'abord directement, puis le taquet y vient soulever le levier *l*

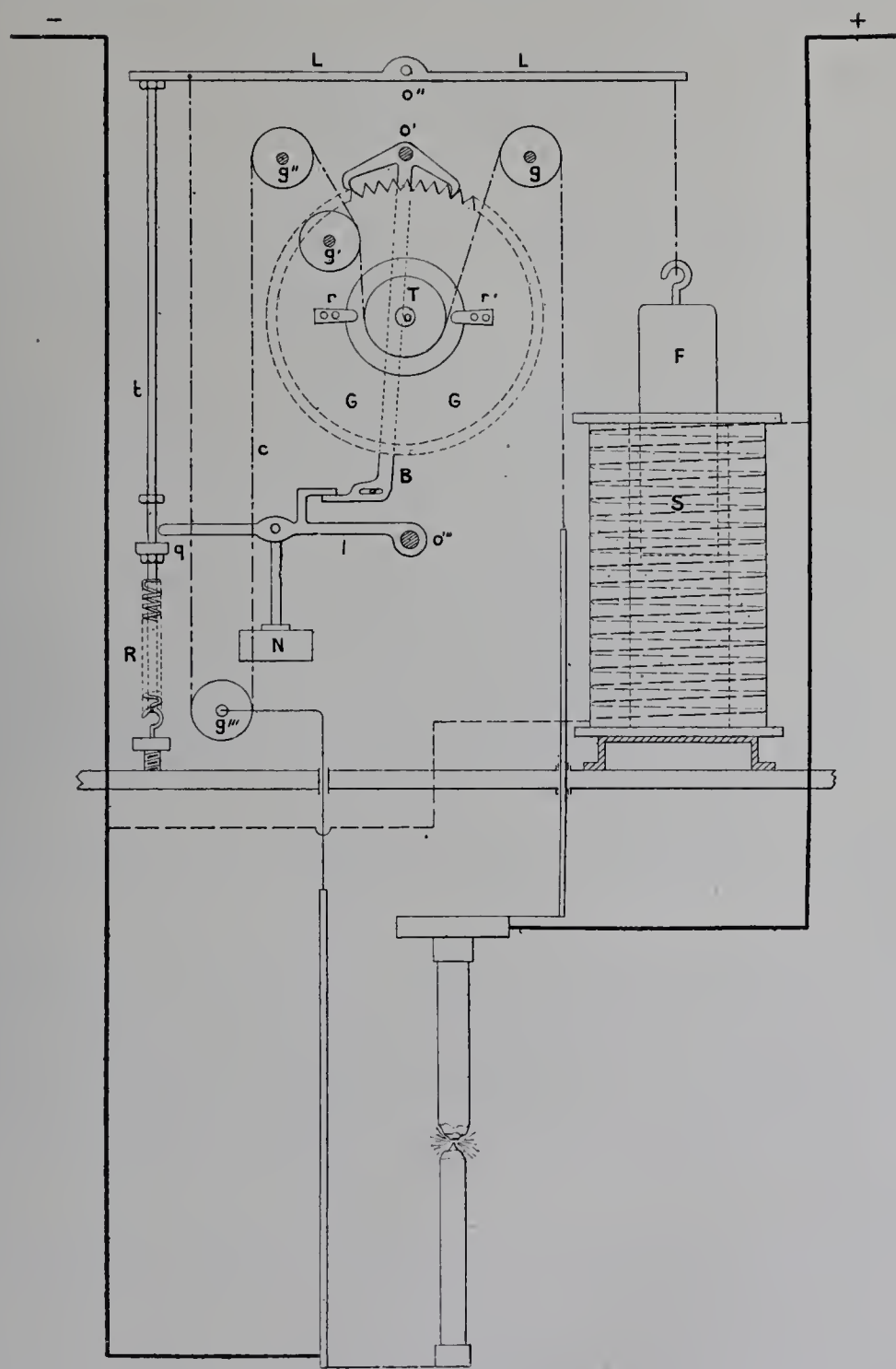


Fig. 41. (Lampe de la Société industrielle des téléphones.)

et permettre l'oscillation du balancier pour le rapprochement des charbons. La différence de potentiel étant ramenée à sa valeur normale, le balancier est à nouveau calé.

Il est nécessaire, dans ces lampes, lorsqu'on place les charbons, de laisser un écart initial de 5 ou 6 millimètres pour permettre l'allumage. Pour parer à cet oubli, les

constructeurs adjoignent quelquefois une bobine série qui a pour but de produire l'écart à l'allumage et de diminuer les variations du courant.

LAMPE HÉGNER. (FRANCE.)

(Déclenchement, différentielle.)

Comme nous l'avons déjà dit, cette lampe, exposée par la *Compagnie des lampes électriques à arc,* a été étudiée spécialement pour la marche par trois en série sous 110 volts par M. Hegner, qui a été le premier à défendre les avantages de ce système. On sait que l'une des principales difficultés que l'on rencontre alors est la nécessité de s'opposer à toute augmentation brusque et excessive du courant.

Tandis que certains constructeurs (Vigreux et Brillié, Bardon) remédient à ce danger par un mouvement de recul à la fois très énergique (pour assurer la sécurité) et très amorti (pour éviter les oscillations), M. Hegner pense que ce n'est là qu'un artifice entraînant une complication et une délicatesse plus grande, et qu'il vaut mieux disposer résolument le limiteur d'intensité *hors* des lampes et non *dans* les lampes. Cette voie, signalée par M. Hegner, entraînera peut-être un jour, si l'on trouve un régulateur d'intensité bon et pratique, à pousser plus loin encore cette même conception et à faire faire le réglage d'intensité par un mécanisme indépendant des lampes, et à limiter le rôle du mécanisme des lampes au réglage de la tension, auquel cas on retomberait sur les lampes simplement en dérivation.

M. Hegner ne va pas jusque-là; il conserve le réglage différentiel pour ses lampes, mais dispose en série avec elles un *limiteur* d'intensité consistant en un rhéostat automatique.

Description de la lampe. — Deux solénoïdes, l'un en dérivation, l'autre en série, sont superposés; un noyau de fer doux peut se mouvoir à l'intérieur; ce noyau commande par sa partie supérieure et par l'intermédiaire d'un petit levier un bras porteur d'un mouvement d'horlogerie. Ce bras peut osciller autour d'un axe portant un tambour denté sur lequel vient s'enrouler la chaîne réunissant les deux porte-charbons; cette chaîne passe également sur un galet dont l'axe de rotation est éloigné de l'axe principal du bras.

Le dernier mobile du mouvement d'horlogerie est constitué par une roue à palette jouant le rôle de régulateur de vitesse et qui vient, en temps ordinaire, buter contre un taquet fixe empêchant tout mouvement de rotation.

L'allumage se fait, comme à l'ordinaire, par un léger mouvement de bascule de tout le système d'horlogerie; et le réglage, par des déclenchements successifs du dernier mobile.

L'amortissement est obtenu au moyen d'une pompe à air.

Rhéostat automatique (fig. 42). — Le rhéostat automatique, qui constitue la partie la plus originale du système, est composé d'un solénoïde S de faible résistance monté

en série avec un rhéostat divisé en plusieurs parties s, s' et s'' de résistances et de sections inégales.

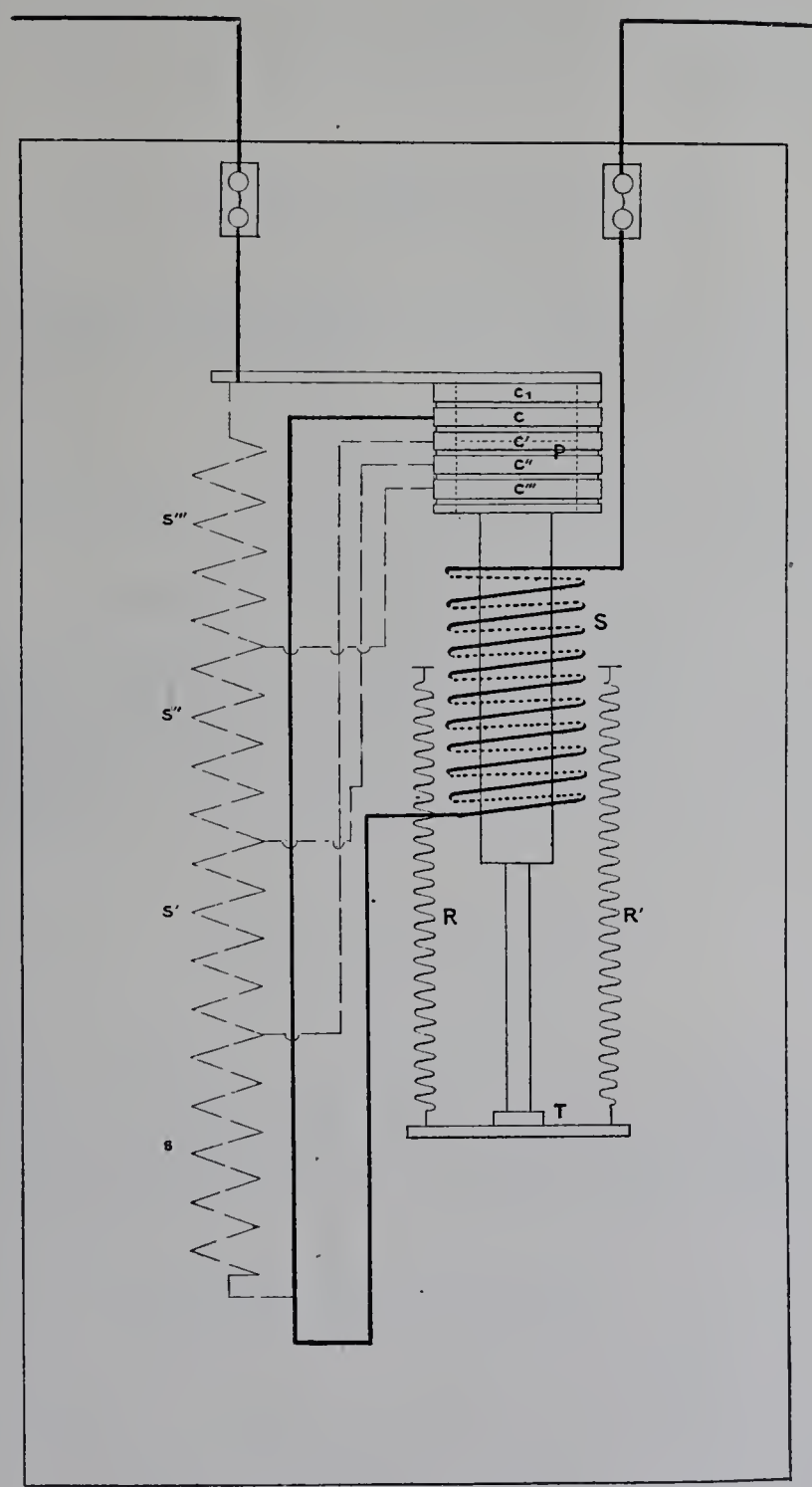


Fig. 42. (Lampe Hégner.)

Ces différentes sections du rhéostat communiquent respectivement avec une boîte à contacts en charbon c, c', c'' et c''', qui peuvent les mettre l'une après l'autre en court-circuit.

Ces disques de charbon sont, en temps ordinaire, maintenus soulevés et en contact

C. F. E.

les uns avec les autres par le noyau du solénoïde et l'action des ressorts R et R′ agissant sur la traverse T.

Lorsque l'intensité augmente d'une manière dangereuse, le noyau est attiré vers le bas et met successivement en circuit les différentes parties du rhéostat, ce qui s'oppose à cette augmentation.

LAMPES KÖRTING ET MATTHIESSEN. (ALLEMAGNE.)

La maison Körting et Matthiessen (de Leutzsch, près Leipzig) présentait une très importante exposition de lampes à arc de différents systèmes. Nous avons remarqué, en particulier, les modèles suivants :

1° Les modèles CJ et C, à deux paires de charbons;

2° Les modèles F ordinaires et à faible intensité;

3° Les modèles FJ et JZ pour la marche par 3 sur 110 volts ou 6 sur 220 volts;

4° Les modèles R et S pour courant alternatif;

5° Les lampes à moteur pour courants alternatifs (modèle RM);

6° Les lampes à arc enfermé (modèle DV);

7° Les modèles U et JU à 2 arcs en tension, assemblés dans la même lampe.

Tous ces modèles sont décrits dans une importante publication que la maison Körting et Matthiessen a éditée avec luxe et présentée au jury : *Das Bogenlicht und seine anwendung*. Nous décrirons seulement les trois suivants :

LAMPE KÖRTING ET MATTHIESSEN.

(Déclenchement, dérivation, fig. 43.)

La lampe se compose de deux noyaux de fer doux, N et N′, placés à angle droit et portant, l'un, un enroulement en série avec le circuit de la lampe, et l'autre, en dérivation.

Cette disposition est adoptée afin que les extrémités des noyaux de fer doux puissent agir sur la même branche d'un levier L, en forme de V. La deuxième branche porte une roue à gorge G, sur laquelle vient s'enrouler la chaîne des porte-charbons. Sur le même axe que cette roue est fixé un engrenage qui commande un train d'engrenage amplificateur imprimant un mouvement de rotation très rapide à une roue à ailettes R, jouant le rôle de régulateur.

Le charbon positif forme le *poids moteur*. Le mouvement de défilage est empêché par un taquet *t* venant prendre sur une des ailettes de la roue.

Le levier peut osciller autour d'un point fixe O différent de l'axe de rotation de la roue à gorge. Une ramification *n* du levier commande un amortisseur A.

Allumage. — Supposons les charbons au contact; la résistance étant très faible, l'intensité acquiert une grande valeur; l'électro-série attire vivement la petite branche du levier, et comme l'axe d'oscillation du levier ne coïncide pas avec celui de la roue à gorge, il en résulte un écart entre les deux charbons provoquant l'allumage.

Réglage. — Le réglage de la lampe est effectué de façon à ce que le mouvement de défilage soit arrêté par le taquet quand le régime est normal. Les charbons s'usant, l'arc grandit et avec lui la différence de potentiel aux bornes de l'arc; au contraire,

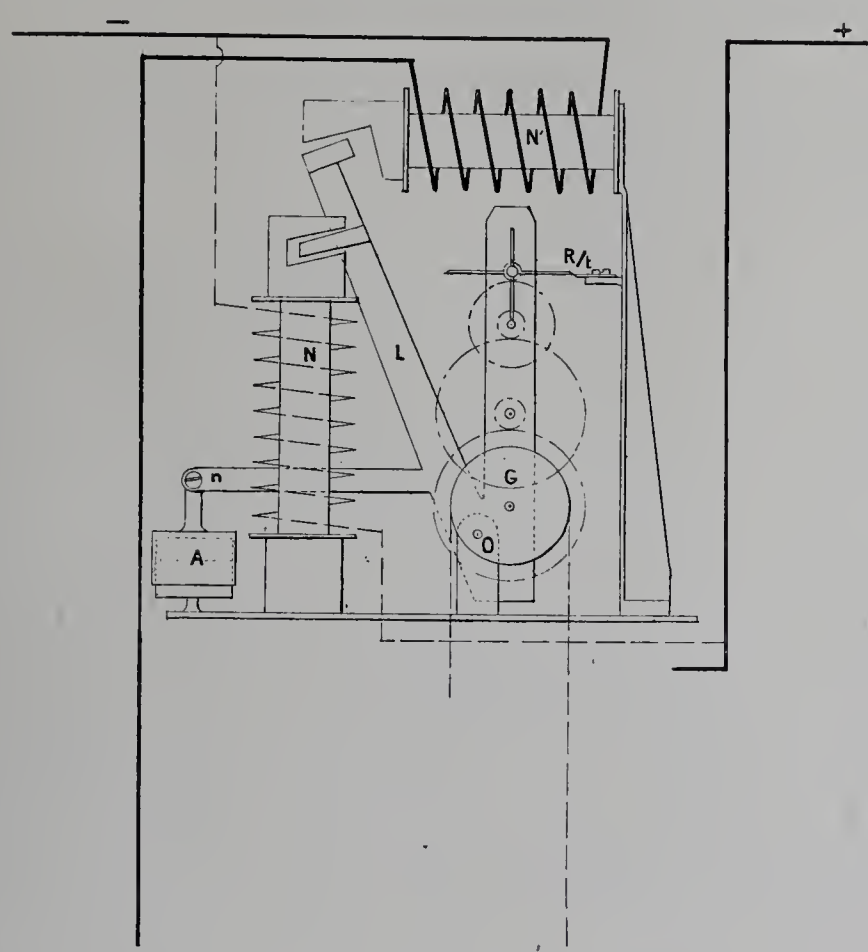


Fig. 43. (Lampe Körting et Matthiessen.)

l'intensité diminue. Le noyau dérivation attire le levier, rendant libre le mouvement de défilage. Les charbons se rapprochent lentement jusqu'à obtenir le régime normal de la lampe.

LAMPE KÖRTING ET MATTHIESSEN.

(Déclenchement, différentielle, courant alternatif, fig. 44.)

La partie régulatrice de la lampe se compose de deux solénoïdes S et S′ enroulés, l'un en dérivation aux bornes de la lampe et l'autre en série dans le circuit des crayons.

Deux noyaux feuilletés N et N′ peuvent se mouvoir respectivement dans chacun des solénoïdes. Ces noyaux sont réunis aux extrémités d'un levier L oscillant en O

Deux platines P portent l'axe O′ d'un tambour T; sur ce tambour vient s'enrouler la chaînette des porte-charbons. Sur le même axe O′ se trouve fou sur l'axe un engrenage E pouvant être entraîné par le tambour, et commandant une série de mobiles d'horlogerie se terminant par une roue à ailettes R.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Le mouvement de rotation de la roue à ailettes est arrêté par un taquet fixe *t*.

Le levier L commande, par l'intermédiaire du levier L′ et du bras *l*, les deux platines pouvant osciller autour de O′.

Un contrepoids C permet d'équilibrer le système.

Allumage. — La lampe hors circuit, les charbons sont au contact; à la mise en circuit, l'électro série attire le noyau et provoque l'écart d'allumage en établissant une des ailettes de la roue sur le taquet.

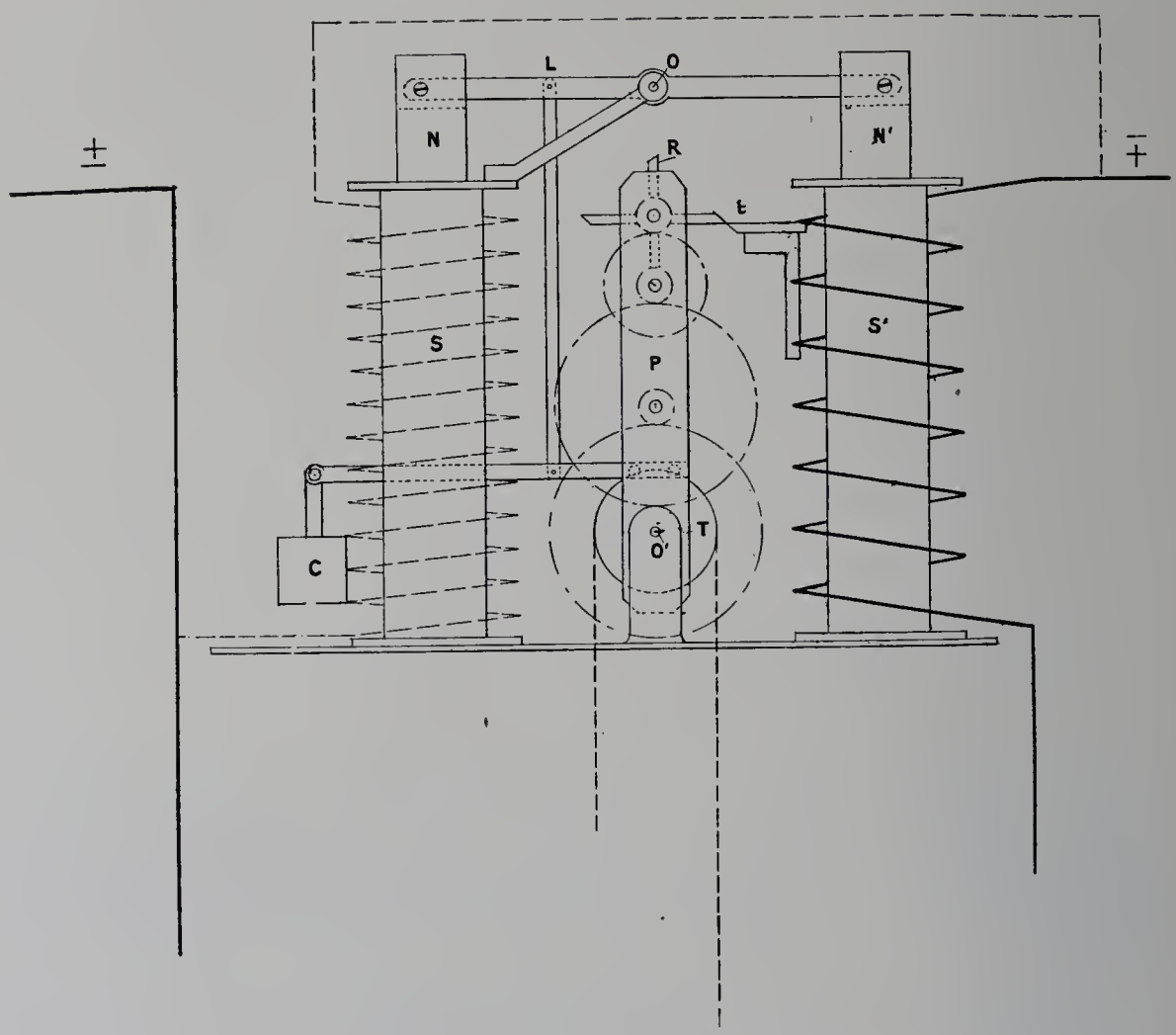


Fig. 44. (Lampe Körting et Matthiessen.)

Réglage. — Quand, par l'usure, la différence de potentiel augmente entre les deux crayons, le noyau de l'électro-dérivation estattiré en rendant libre la roue à ailettes; les crayons peuvent ainsi se rapprocher.

LAMPE KÖRTING ET MATTHIESSEN.

(Déclenchement, dérivation, courant alternatif, fig. 45.)

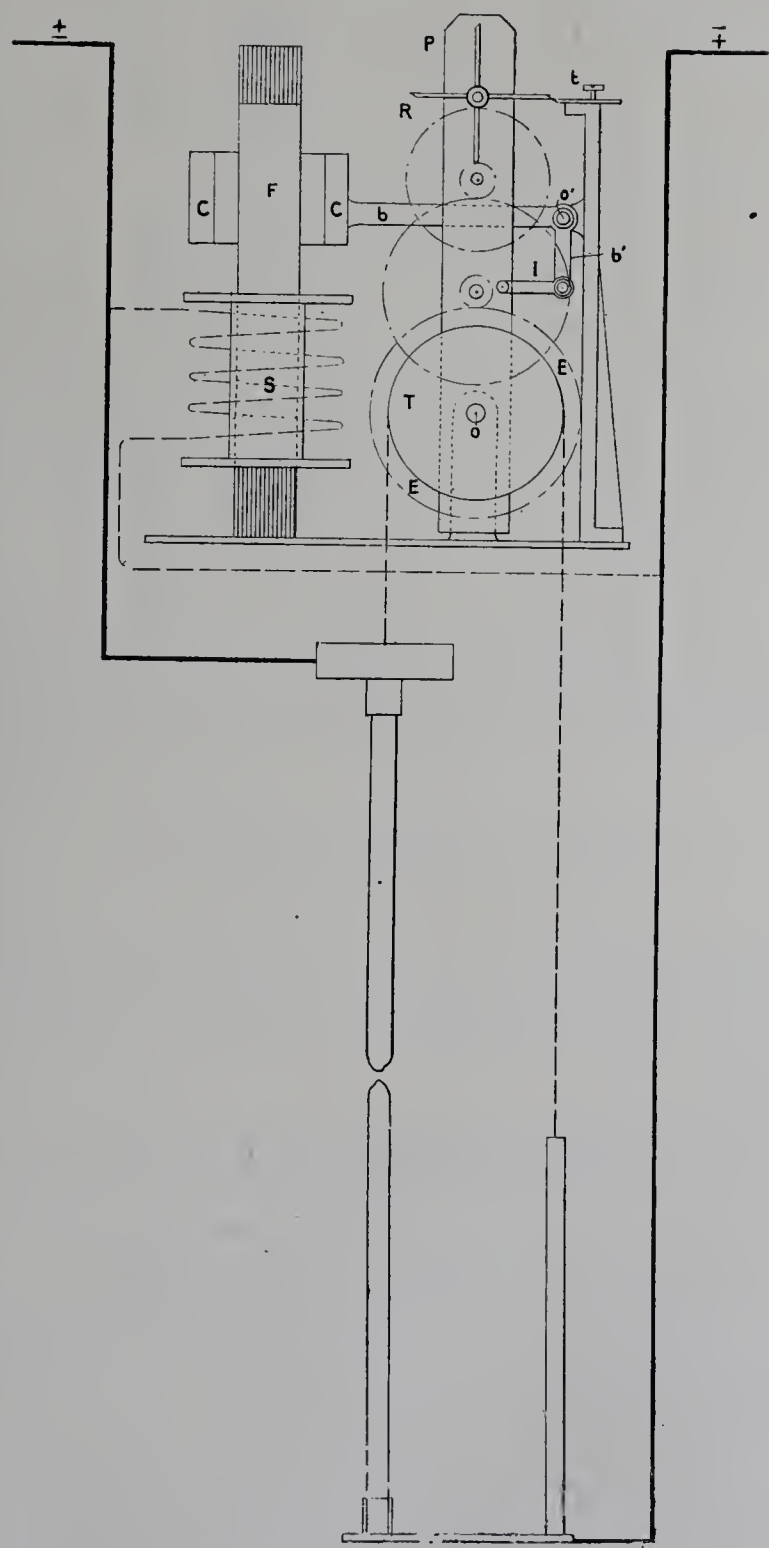


Fig. 45. (Lampe Körting et Matthiessen.)

La partie régulatrice de la lampe se compose de deux solénoïdes S, enroulés en dérivation aux bornes de la lampe; à l'intérieur de chacun d'eux est fixé un noyau feuilleté de fer doux F.

Au-dessus du solénoïde S, qui occupe la partie inférieure, se trouve un cylindre métallique C qui, sous l'influence de l'effet Thomson, tend à occuper la partie supérieure du noyau de fer doux.

Une platine P porte l'axe O du tambour T sur lequel vient s'enrouler la chaîne des porte-charbons.

Sur ce même axe se trouve un engrenage E, commandant une série de mobiles d'horlogerie se terminant par une roue à ailettes R.

Le mouvement de la roue à ailettes est arrêté par un taquet *t*.

Le cylindre C porte un bras *b*, *b'* mobile en O'; par le levier *l*, il transmet des mouvements à la platine P.

Allumage. — La lampe étant hors circuit, les crayons sont écartés; quand on ferme le circuit, le cylindre C est repoussé et soulevé par l'action du solénoïde et du noyau F; la platine P oscille à gauche et la roue à ailettes est rendue libre en permettant le rapprochement des charbons. Quand ils arrivent au contact, le cylindre tombe en provoquant l'écart d'allumage.

Réglage. — Quand la différence de potentiel augmente entre les deux crayons, le cylindre C est soulevé, la platine oscille à gauche et la roue à ailettes est rendue libre en permettant le rapprochement des charbons jusqu'à la valeur normale de la différence de potentiel.

LAMPE SCHUCKERT. (ALLEMAGNE.)

(Mouvement d'horlogerie, différentielle, fig. 46.)

Cette lampe, exposée par la « Elektricitäts Aktien-Gesellschaft, vormals Schuckert », se compose de deux solénoïdes superposés S et S' enroulés, l'un en série, l'autre en dérivation aux bornes de l'arc. Un noyau de fer doux F peut se mouvoir verticalement dans ces solénoïdes.

Un cadre horizontal, oscillant autour de l'axe O, porte à l'une de ses extrémités un galet *g* et une tige T; à l'autre, il est réuni au noyau de fer F.

Sur un tambour R, vient s'enrouler, après avoir passé sur le galet *g*, la chaîne des porte-charbons. Le porte-charbon supérieur est le poids moteur.

Le tambour R commande une série de mobiles d'horlogerie se terminant par une roue à échappement; un petit levier oscillant L commande cet échappement; il est arrêté ou rendu libre suivant la position de la tige T.

Allumage. — La lampe étant hors circuit, les charbons sont au contact; lorsqu'on ferme le courant, l'action de l'enroulement série l'emporte, le noyau F est attiré vers le haut; ce mouvement fait basculer le cadre autour de O, ce qui abaisse le charbon inférieur et amorce l'arc. En même temps, la tige T vient en prise avec le levier oscillant L et empêche tout mouvement de rapprochement des charbons.

Réglage. — La différence de potentiel aux bornes augmentant par l'usure des char-

bons, le noyau F descend; la tige T s'éloigne du levier L jusqu'au moment où le mouvement oscillatoire de ce levier étant rendu libre, les charbons se rapprochent.

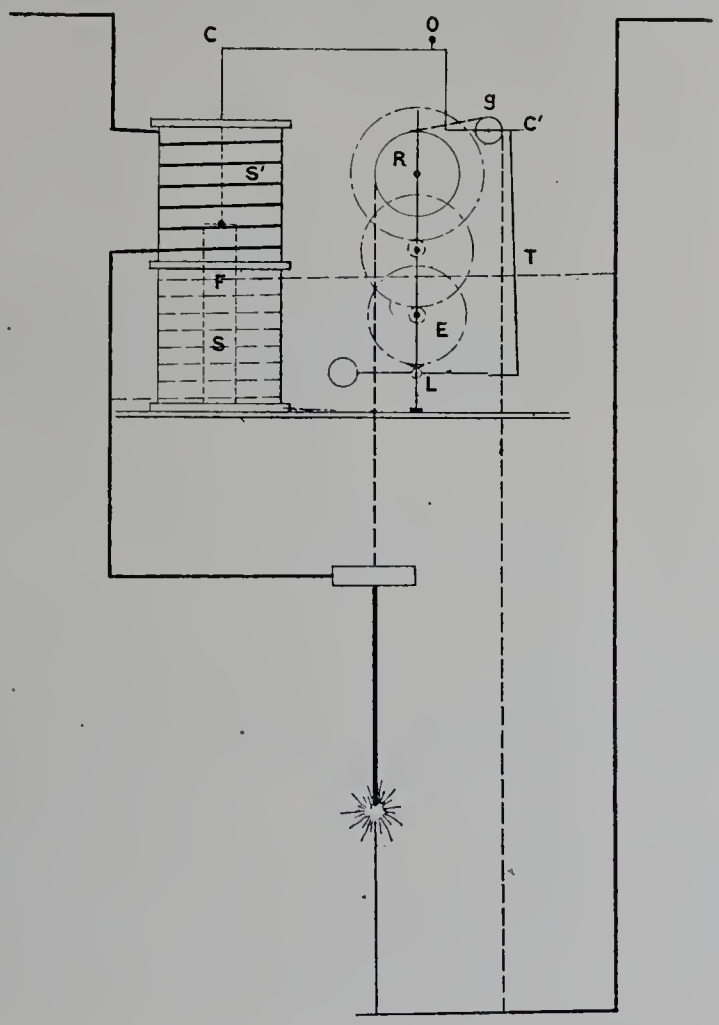


Fig. 46. (Lampe Schuckert.)

LAMPE SIEMENS ET HALSKE. (ALLEMAGNE.)

(Déclenchement, dérivation, différentielle.)

Cette lampe, comme toutes celles de ce type, se compose d'un mouvement d'horlogerie dont le premier mobile supporte les cordons porte-charbon et le dernier est constitué par un moulinet qui normalement est en prise avec une butée fixe qui l'immobilise. Tout le système peut basculer autour d'un axe O pour permettre l'allumage.

Nous noterons seulement deux particularités : 1° l'axe d'oscillation O du système entier ne coïncide pas avec l'axe de rotation O′ de la poulie sur laquelle passent les cordons des porte-charbons. Cette disposition, qui est d'ailleurs adoptée par plusieurs constructeurs, a deux avantages : d'abord, elle permet un écart plus considérable des charbons à l'allumage, ou, ce qui revient au même, une course plus petite de l'armature; et, ensuite, elle permet d'annuler l'influence que peut avoir sur le réglage la diminution de poids des charbons pendant la marche; si nous appelons A et A′ les points de con-

tact des deux cordons verticaux avec la poulie, il suffit de régler les deux bras de levier OA, OA′, de sorte que la résultante des poids des charbons passe par l'axe O; 2° un système convenable de ressorts fait équilibre au poids total du mouvement d'horlogerie, de manière à diminuer les frottements sur l'axe.

Ces lampes sont munies d'un petit réflecteur placé à une très petite distance au-dessus de l'arc; d'après les constructeurs, ce réflecteur augmente de 10 p. 100 la quantité de lumière (moyenne hémisphérique), de 32 p. 100 la durée de la combustion, et par conséquent économise environ 40 p. 100 de charbon.

Ces lampes sont munies de deux amortisseurs, un amortisseur ordinaire pour le réglage de la lampe en fonctionnement normal, et une pompe à soupape pour éviter les reculs trop considérables qui risqueraient de briser l'axe à l'allumage.

Les lampes pour courant alternatif sont fondées sur le même principe de construction.

Dans le cas de courant continu, les lampes sont montées en général à la manière ordinaire, par deux sur 110 volts, avec une perte de 30 à 33 p. 100 dans la résistance en série. Dans le but de diminuer ou de supprimer cette perte, la maison Siemens préconise deux solutions : 1° l'emploi de lampes marchant sous une tension un peu plus élevée, par exemple 44 à 45 volts, de manière à réduire à 20 p. 100 environ l'énergie perdue dans la résistance; 2° l'emploi de trois lampes en tension sans résistance. Dans ce dernier cas, il est nécessaire de placer dans le circuit des lampes un rhéostat de mise en marche, pour éviter un courant trop intense à l'allumage; d'après les constructeurs, ce rhéostat est nécessaire chaque fois que la tension aux bornes du réseau ne surpasse pas la tension aux bornes des lampes d'une certaine quantité minimum : si $\frac{n}{100}$ est la fraction de la tension totale absorbée dans les résistances inertes, p le nombre des lampes, le rhéostat de mise en marche doit pouvoir absorber $p(230 - 5n)$ watts.

IV. LAMPES MOTEURS.

LAMPE SCHUCKERT À COURANT ALTERNATIF.

(Moteur, différentielle, fig. 47.)

La lampe se compose d'un disque en aluminium D, mobile autour de son axe O, et de deux électro-aimants en fer feuilleté, dont l'un E est parcouru par le courant principal et l'autre E′ par un faible courant dérivé.

Les électros induisent, dans le disque d'aluminium, des courants de Foucault décalés par rapport à celui qui traverse les bobines; il en résulte un puissant couple de rotation agissant sur le disque. Les électros sont disposés de telle façon que le disque est sollicité par l'un à tourner dans le sens des aiguilles d'une montre et par l'autre en sens opposé.

Un petit train d'engrenages transmet le mouvement de rotation du disque à un tambour T sur lequel passe la chaîne à laquelle sont fixés les deux porte-charbons.

Lorsque l'arc est normal, les deux moments de rotation agissant sur le disque (y compris le poids moteur) se font équilibre et tout le mécanisme reste ainsi en repos.

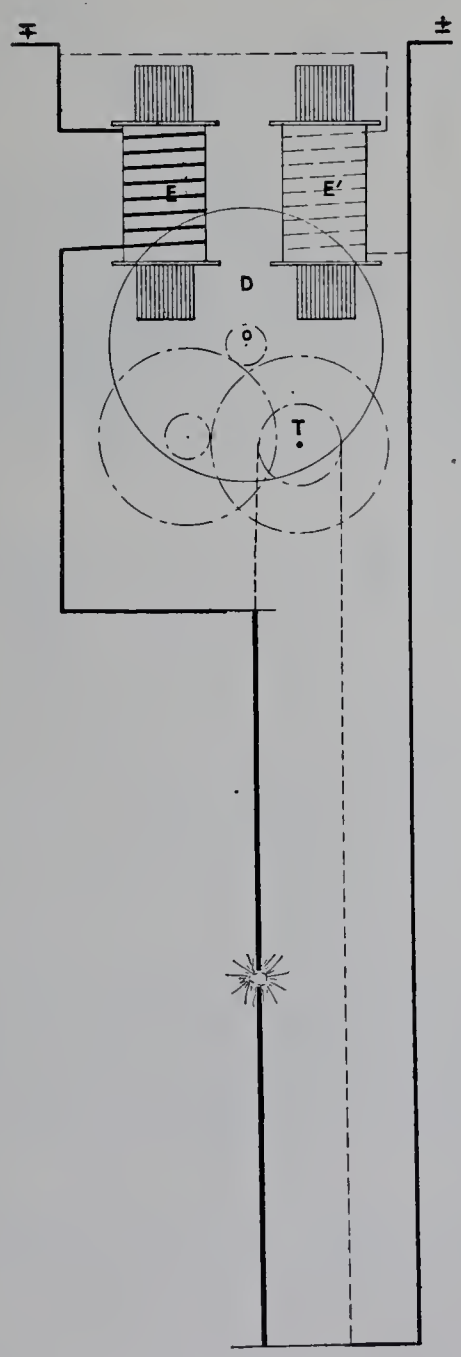


Fig. 47. (Lampe Schuckert à courant alternatif.)

Allumage. — La lampe hors circuit, les charbons sont au contact; à la mise en circuit, l'électro en série produit un couple de rotation tendant à éloigner les charbons; l'arc s'amorce.

Réglage. — Aussitôt que, les charbons s'étant usés d'une certaine quantité, la tension

s'élève, l'électro dérivé fait tourner le disque et le tambour dans un sens tel, que les charbons se rapprochent.

Si, au contraire, l'intensité du courant devient trop grande, l'électro principal produit un couple de rotation contraire et les charbons s'écartent jusqu'à ce que la tension et l'intensité reprennent leur valeur normale.

LAMPE POUR COURANTS ALTERNATIFS DE L'ALLGEMEINE ELEKTRICITÄTS GESELLSCHAFT.

(Moteur, différentielle.)

Le principe de cette lampe est le même que celui de la lampe moteur Schuckert. Deux électros sont enroulés l'un en dérivation, l'autre en série; les champs produits induisent dans un disque en aluminium des courants de Foucault. Deux plaques de cuivre, placées à la partie inférieure de la pièce polaire de chaque électro, rendent le champ dissymétrique et produisent ainsi le mouvement de rotation du disque dans un sens ou dans l'autre, selon la prédominance de l'électro série ou de l'électro dérivation.

LAMPE HACKL POUR COURANTS ALTERNATIFS DE LA SOCIÉTÉ GANZ ET Cie.

(HONGRIE.)

(Moteur, différentielle, fig. 48.)

Dans l'arc à courants alternatifs, le flux lumineux émis au-dessus de l'horizon est sensiblement égal au flux lumineux inférieur. Dans l'éclairage des espaces découverts, le flux lumineux inférieur est seul utile; aussi place-t-on un réflecteur à la partie supérieure de l'arc, pour renvoyer la lumière vers le sol; ce réflecteur a généralement un grand coefficient d'absorption.

D'autre part, les crayons ayant entre eux un écart faible, des diamètres égaux et les extrémités vers l'arc un peu aplaties, il en résulte une occultation très grande.

C'est pour obvier en partie à ces inconvénients que, dans la lampe Hackl, les charbons sont inclinés à 45 degrés sur l'horizontale et font entre eux un angle de 90 degrés.

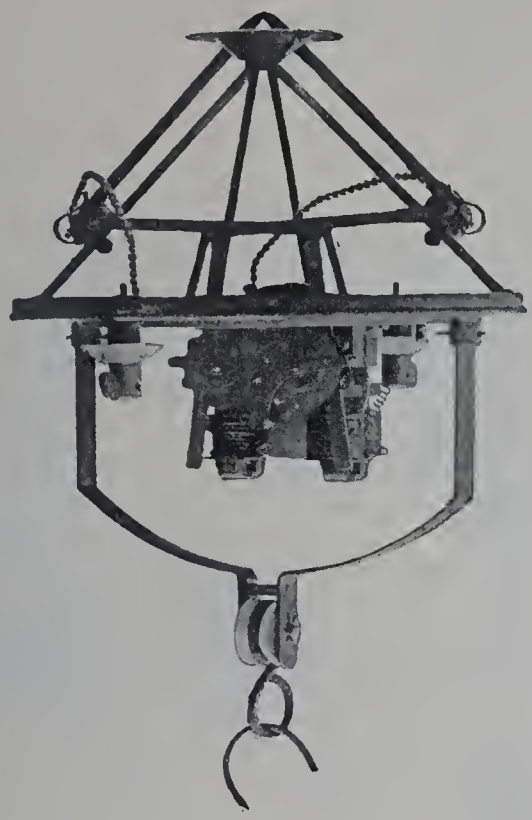
On parvient ainsi à faire tomber la plus grande partie du flux lumineux au-dessous de l'horizontale; le réflecteur supérieur ne renvoie que le faible flux lumineux émis vers le haut.

La lampe peut ainsi être suspendue plus haut que les lampes ordinaires à courants alternatifs.

Pour rendre plus stable la lumière, la section des charbons a la forme ci-après (fig. 49); on peut ainsi rapprocher les mèches l'une de l'autre et obtenir la stabilité de l'arc.

Deux électros placés symétriquement par rapport à l'axe de la lampe sont enroulés, l'un en dérivation aux bornes de la lampe, l'autre en série dans le circuit des crayons.

Un disque métallique peut se mouvoir entre les mâchoires des deux électros. Les courants de Foucault, induits dans le disque par la bobine série, tendent à le faire tourner de façon à écarter les crayons; la bobine de dérivation, au contraire, à les rapprocher.



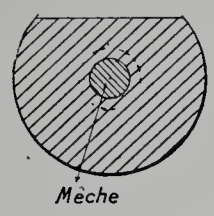


Fig. 48 et 49.

Il en résulte un certain équilibre entre le courant et la tension que l'on fait correspondre, dans le réglage de la lampe, aux valeurs normales.

Le mouvement du disque est transmis par une série d'engrenages à deux barres dentées, commandant, par l'intermédiaire d'un levier, le porte-charbon correspondant. Celui-ci glisse sur une tige parallèle au crayon.

Les engrenages sont combinés de manière à assurer un glissement égal des charbons dans le même sens.

V. LAMPES EN VASE CLOS.

LAMPE ADAMS BAGNALL ELECTRIC C^e. (ÉTATS-UNIS.)

(Fig. 50.)

Cette lampe, en vase clos, est destinée à fonctionner sur le courant alternatif.

L'organe principal est un double solénoïde de réglage S, dans les deux bobines duquel peuvent se mouvoir les deux tiges de l'armature A en forme de ⊔; cette arma-

ture est composée d'un faisceau de fil de fer, afin d'éviter les courants de Foucault. Cette armature commande une rondelle B par l'intermédiaire d'un ressort R et d'une

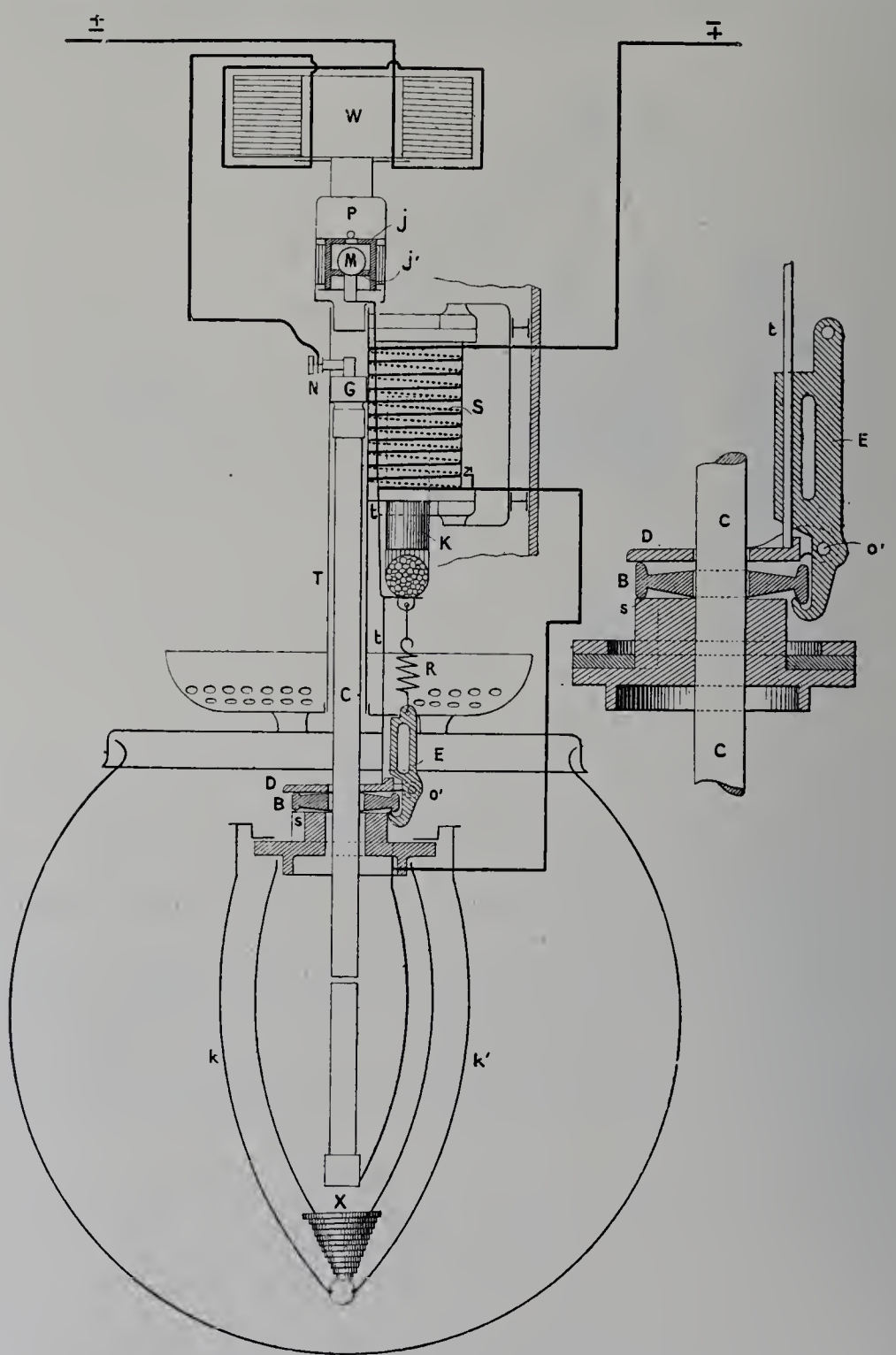


Fig. 50. (Lampe Adams.)

sorte d'étrier E; la rondelle B est percée d'un trou qui laisse passer le charbon positif.

Ce charbon C est placé suivant l'axe de la lampe, concentriquement à un tube T; il

passe dans l'alésage de la rondelle B avec un jeu suffisant pour permettre le rapprochement des charbons quand la rondelle est horizontale.

Le tube T porte une rainure longitudinale, afin de permettre le passage de la connexion N d'arrivée du courant.

La partie supérieure du charbon vient se fixer dans un porte-charbon surmonté d'un piston en graphite G permettant le guidage du charbon C, tout en diminuant le frottement.

Le tube T est surmonté d'un cylindre de grand diamètre jouant le rôle de piston amortisseur P. Cet amortisseur est intéressant en ce sens qu'il est dissymétrique : très énergique pour les mouvements de recul et presque nul pour les mouvements de rapprochement ; nous avons déjà trouvé une disposition de ce genre dans la lampe de MM. Vigreux et Brillié. Ce résultat est obtenu de la manière suivante : le piston P est creux et une boule d'acier M, jouant le rôle de soupape, peut fermer ou ouvrir un orifice ménagé dans la partie supérieure du piston P. A l'allumage, les charbons sont en contact, un courant intense traverse le solénoïde S et soulève la tige *t* qui commande la boule M; la soupape est fermée et l'amortissement très énergique. En même temps, le charbon supérieur est soulevé par le coincement de la rondelle B et l'arc s'amorce.

Le réglage se fait, comme dans toutes les lampes de ce genre, par petites chutes successives du charbon supérieur rendu libre par la rondelle B lorsque le courant vient à diminuer.

LAMPE JANDUS.

(Fig. 51.)

La lampe Jandus, l'une des plus anciennes parmi les lampes en vase clos, était exposée dans la section française par la Compagnie des lampes à arc Jandus (brevets continentaux) et dans la section suédoise par la Société anonyme Laval. Cette lampe est remarquable par sa symétrie complète; toutes les pièces sont de révolution autour de l'axe. L'électro-aimant de réglage E, enroulé en série[1], est muni d'un noyau fixe A; conique intérieurement. L'armature T de cet électro-aimant est un tube de fer dont l'extrémité supérieure *c* est conique extérieurement et tend à venir s'appliquer contre le noyau A. Ce tube porte un piston P qui se meut dans un cylindre B et sert d'amortisseur. Le piston P est creux et conique intérieurement; quand il se soulève, par l'action de l'électro-aimant A, il vient coincer énergiquement quatre galets *g* (un seul est représenté sur la figure) contre le tube porte-charbon *t*; ce tube devient alors absolument solidaire de l'armature et est soulevé avec elle; le charbon inférieur (négatif) étant fixe, l'arc s'allume. Lorsque les charbons s'usent, l'intensité du courant diminuant peu à peu, le charbon supérieur descend; un premier réglage s'effectue ainsi; il arrive un moment où la base du piston vient reposer sur

[1] Dans la distribution en série, on sait qu'un tel électro-aimant ne conviendrait pas : il est alors remplacé par un électro à enroulement différentiel.

l'appui D; à ce moment, les galets *g* sont soulevés par un tube fixe F, et le charbon positif, rendu libre, tombe d'une certaine quantité; mais immédiatement l'électro-

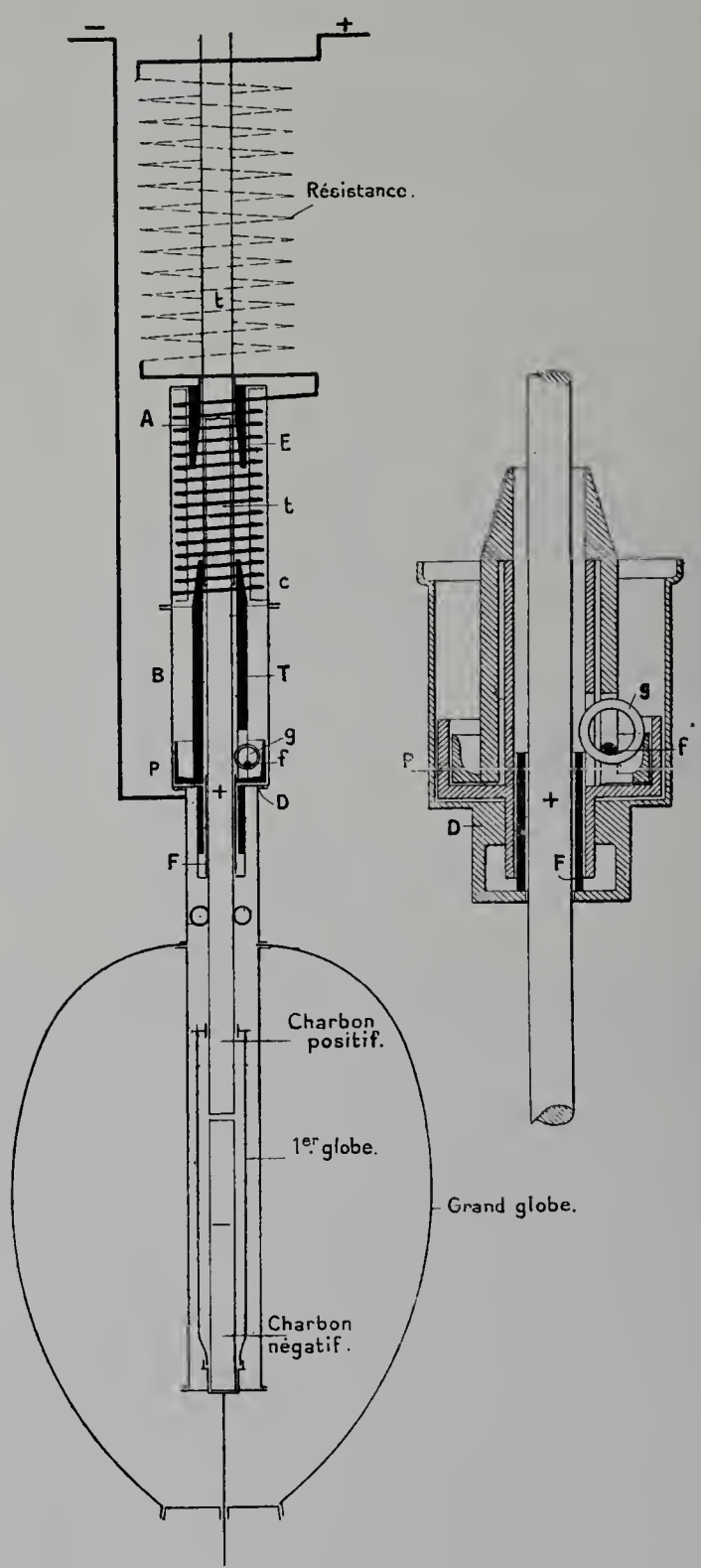


Fig. 51. (Lampe Jandus.)

aimant est de nouveau excité, le coincement des galets *g* se produit entre la surface intérieure du piston et le charbon positif, et le mouvement de descente est arrêté.

En réalité, on a là un régulateur à frein dans lequel le frein, au lieu d'agir sur un rouage, agit directement sur le charbon; un tel système, qui serait tout à fait inacceptable dans le cas d'arcs ordinaires, est suffisant dans le cas d'arcs relativement longs comme ceux qu'on utilise en vase clos.

Deux globes complètent la lampe. Le globe extérieur est fermé hermétiquement en tous ses points, sauf dans le bas où une ouverture est ménagée pour laisser passer le charbon négatif.

Cette ouverture est fermée par une valve permettant à un excès d'air de sortir du globe, mais non d'y rentrer.

Le globe est maintenu sur le cadre à sa partie supérieure par un écrou qui le presse entre deux rondelles d'amiante formant joint, et le cadre est vissé sur la lampe.

Dans l'intérieur de ce grand globe est un petit manchon dans lequel l'arc se forme; c'est ce manchon qui constitue, à proprement parler, l'atmosphère confinée de l'arc; dans les premiers instants, grâce à la haute température dégagée, une grande partie de l'air qui y est contenu passe dans le grand globe, puis de là, à l'extérieur, par la valve; quant à la petite quantité d'air qui reste, il s'appauvrit bien vite en oxygène et la combustion du charbon devient impossible; les gaz qui y restent sont principalement de l'azote et de l'oxyde de carbone; on peut voir celui-ci s'enflammer si on retire le manchon encore chaud de la lampe.

Lorsque la lampe fonctionne sous 110 volts, elle n'utilise, comme on le sait, que 8/11 de la tension; le reste est absorbé par une résistance de maillechort placée à la partie supérieure de la lampe.

Le tableau suivant donne les consommations de charbons que nous avons relevées au Laboratoire central d'électricité sur une lampe Jandus; les résultats obtenus (2e ligne) montrent bien l'efficacité du manchon intérieur.

USURE DES CHARBONS POUR ARCS ENFERMÉS.

CHARBONS « EOS JANDUS » $\frac{H\ 13}{H\ 13}$.

DURÉE de L'EXPÉRIENCE.	VOLTS MOYENS.	AMPÈRES MOYENS.	USURE HORAIRE. (Longueur.)		USURE HORAIRE. (Poids.)		OBSERVATIONS.
			CHARBON +.	CHARBON —.	CHARBON +.	CHARBON —.	
heures.			millim.	millim.	grammes.	grammes.	
23	80.2	5	1.32	0.73	0.23	0.128	Conditions normales de fonctionnement.
16	79.2	5	5.55	3.2	0.83	0.58	Manchon intérieur sans couvercle.
15 1/2	114	5	1.33	0.75	0.25	0.127	Conditions normales de fonctionnement.

LAMPE MARKS.

La lampe Marks, qui est construite en France par la société Gramme et était exposée par cette société, est, avec la lampe Jandus, une des premières qui aient été construites sur le principe des lampes en vase clos. Comme dans toutes ces lampes, le mécanisme régulateur est des plus simples : un électro-aimant vertical, excité en série, comprend deux bobines creuses; les noyaux sont formés par les deux branches verticales d'une armature en forme de ⊔ ; à cette armature sont fixés deux sabots qui viennent, par leur propre poids, serrer le porte-charbon supérieur. Tant que ce serrage existe, ce porte-charbon se trouve donc solidaire de l'armature et est soulevé avec elle de 10 millimètres environ au moment de l'allumage. Lorsque les charbons s'usent, ce système baisse peu à peu, jusqu'à ce que l'équipage articulé porteur des sabots vienne buter contre des taquets fixes ; à ce moment, les sabots se desserrent et le charbon tombe d'une quantité très petite. Le réglage s'effectue ainsi. L'arc se produit, comme dans toutes les lampes de ce genre, dans un petit globe servant de vase clos ; ce globe est monté sur le porte-charbon inférieur (négatif) ; à sa partie supérieure, il est fermé par un obturateur qui laisse passer, avec un jeu très faible, le charbon supérieur; cet obturateur est étudié de manière à rendre aussi difficile que possible la circulation des gaz et, par conséquent, le renouvellement de l'oxygène à l'intérieur du globe. D'après l'auteur, pour un courant de 8 ampères et une tension de 63 volts à l'arc, l'usure moyenne, par heure, est de 2 millim. 6 sans le régulateur d'admission de l'arc, et de 1 millim. 3 avec le régulateur.

LAMPE PETITE.

(Fig. 52.)

Cette lampe était exposée par la Western Electric C° (États-Unis).

Un solénoïde S, monté en série, est enroulé autour d'un tube de cuivre T ; le champ magnétique est autant que possible fermé extérieurement par des joues j et j' en fer, réunies par des nervures verticales.

Intérieurement, peut se mouvoir un tube en fer F, au centre duquel passe le charbon positif ; ce tube porte à sa partie inférieure deux mâchoires m et m', articulées autour des points O et O' ; lorsque le noyau est attiré, ces mâchoires viennent serrer fortement le charbon positif et le soulèvent.

Le même noyau F commande, par l'intermédiaire de leviers L et L', un amortisseur à air A.

A l'allumage, les charbons sont en contact, un courant intense parcourt le solénoïde et le charbon supérieur est soulevé, l'arc s'allume ; à mesure que le charbon s'use, les charbons se rapprochent peu à peu, puis il arrive un moment où la pièce portant les mâchoires vient reposer sur un point fixe ; à ce moment, les mâchoires se desserrent et le charbon supérieur tombe d'une petite quantité.

Un fil de cuivre C', qui se trouve placé en série dans le circuit principal, est disposé

de manière que, lorsque les charbons sont près de leur fin, l'arc vienne le brûler et interrompre ainsi le courant; ce fil remplace donc un coupe-circuit automatique.

On sait qu'en général, dans les lampes en vases clos, l'arc ne se maintient pas centré comme dans les lampes à feu nu et à charbon positif à mèche; les constructeurs de la

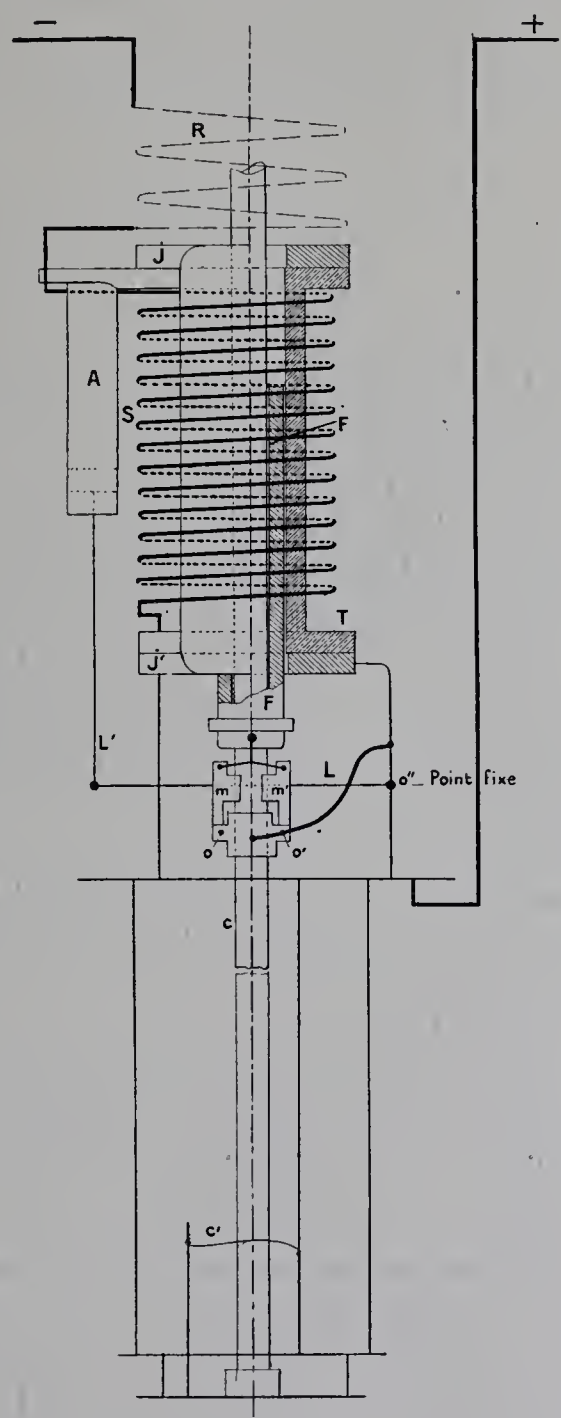


Fig. 52. (Lampe Petite.)

lampe Petite ont essayé d'obtenir ce centrage en employant, comme conducteurs de retour, trois conducteurs verticaux, parallèles aux charbons et symétriquement disposés. Ils pensaient forcer ainsi l'arc à se maintenir centré par répulsion électrodynamique;

mais, d'après quelques essais que nous avons effectués sur cette lampe, l'effet produit est simplement d'augmenter dans de très grandes proportions la vitesse de rotation de l'arc; cette vitesse devient telle qu'elle donne l'impression d'une lampe à courant alternatif. La Western Electric C° exposait également une lampe à arc en vase clos pour courants alternatifs; le mécanisme ressemble beaucoup au précédent, mais le mouvement du frein à coincement est commandé, non plus par le noyau en fer d'un solénoïde, mais par une armature en aluminium sur laquelle agissent les actions répulsives de E. Thomson.

LAMPE THOMSON-HOUSTON.

(Fig. 53.)

Deux bobines B et B′, placées symétriquement par rapport à l'axe de la lampe, sont enroulées en série sur le circuit principal.

Les deux tiges verticales d'un fer en forme de ⊔ peuvent se mouvoir à l'intérieur de ces deux bobines. A l'extrémité inférieure de ce fer en ⊔ est suspendu librement, par une série de tiges articulaires, un collier *m*; il est facile de se rendre compte que lorsque le collier *m* est soumis à son propre poids, il vient coincer obliquement sur le charbon qu'il rend ainsi solidaire du fer en U. Au contraire, si le collier *m* vient reposer sur le support S, le charbon, rendu libre, peut tomber d'une certaine quantité. Ce mouvement est amorti par le déplacement d'un piston de plombagine dans un cylindre; la lubrification est ainsi automatique, et le faible coefficient de dilatation du graphite rend l'appareil sensiblement indépendant des variations de température.

La résistance auxiliaire (ou, dans le cas du courant alternatif, la bobine de réaction) est placée au sommet de la lampe.

Comme dans toutes les lampes de ce genre, l'arc est enfermé dans un petit globe fixe sur la base de la lampe et fermé à sa partie supérieure par un chapeau en fonte qui laisse juste passer le charbon positif.

Le renouvellement de ce globe constitue une dépense qui n'est pas négligeable; la Compagnie Thomson Houston estime qu'il peut durer 400 heures sans être renouvelé. Voici la comparaison qu'elle établit entre les dépenses *fixes* (toute question photométrique mise à part) relatives au système de la lampe en vase clos et de la lampe ordinaire, pour un mois d'éclairage à sept heures par jour :

	LAMPES EN VASES CLOS LONGUE DURÉE.				LAMPES À AIR LIBRE ORDINAIRES.			
Nombre de lampes.....	2	10	50	100	2	10	50	100
Main-d'œuvre.....	1 00	5 00	25 00	50 00	7 50	37 50	187 50	375 00
Charbons.....	0 48	2 40	12 00	24 00	7 20	36 00	180 00	360 00
Globes intérieurs.....	1 50	7 50	37 50	75 00	"	"	"	"
Francs.....	2 98	14 90	74 50	149 00	14 70	73 50	367 50	735 00

Même en admettant une certaine exagération dans ces nombres, on ne peut nier qu'il n'y ait entre les deux systèmes une marge assez grande pour tolérer, dans le cas de la lampe en vase clos, un rendement lumineux fort inférieur à celui de la lampe ordinaire.

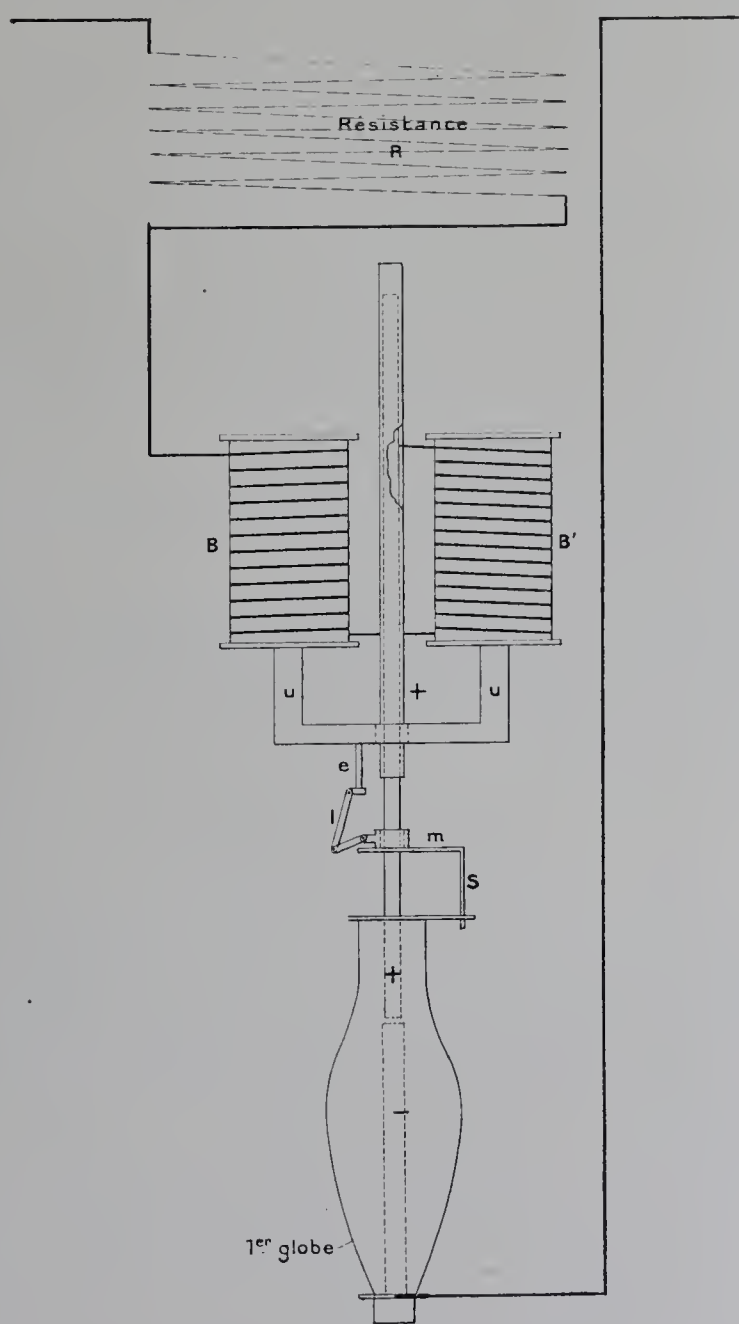


Fig. 53. (Lampe Thomson-Houston.)

LAMPE TOERRING ET LAMPE HELIOS UPTON.

La lampe Tœrring, exposée par C. J. Tœrring C°, Philadelphie, appartient à la catégorie des lampes en vase clos. Elle comporte un système de réglage par coincement, comme la plupart des lampes de ce type; un électro-aimant vertical à deux bobines a pour armature deux noyaux verticaux en forme de ⊓. Cette armature est suspendue à

IMPRIMERIE NATIONALE.

une chaîne qui passe sur une poulie et supporte le tube-guide du charbon; le charbon positif lui-même glisse à l'intérieur de ce tube, et il tomberait s'il n'était retenu par le coincement d'une pièce articulée portée par le tube-guide, et agissant par son simple poids. Lorsque, les charbons s'usant, l'intensité diminue, l'ensemble du tube-guide et du charbon, rendus solidaires par la pression de la pièce articulée, descendent sous l'action de leur poids, puis il arrive un moment où la pièce articulée, étant retenue par une butée fixe, le charbon est libéré et peut tomber d'une petite quantité; puis, immédiatement, il est repris par le tube-guide. Les mouvements sont d'ailleurs amortis par une pompe à air. Cette lampe peut fonctionner, soit sous 110 volts, avec 80 volts à l'arc, soit sous 220 volts, avec 150 volts à l'arc.

Un système analogue est employé pour le courant alternatif; une bobine de réaction est substituée à la résistance de réglage. Le petit globe formant vase clos est fixé d'une manière très pratique et facilement démontable; il a une forme cylindrique et non ovoïde, ce qui facilite le nettoyage.

D'après un certificat qui nous a été communiqué, une lampe à courant continu fonctionnant sous 230 volts (156 volts à l'arc) et un courant de 2,6 ampères brûlerait moins de 1 millimètre de charbon par heure.

La lampe Helios Upton ressemble beaucoup à la précédente; les différences résident surtout dans le piston amortisseur. La Compagnie Helios Upton a d'ailleurs réalisé des lampes à très faible intensité, 1,5 ampère, par exemple.

PHARES ET PROJECTEURS.

Il n'entre pas dans notre cadre d'étudier spécialement ces appareils, qui feraient plutôt partie du Groupe du Génie civil. Nous devons, cependant, signaler les noms des exposants qui figuraient dans la Classe 25 : MM. Barbier et Bénard, H. Lepaute, Sautter-Harlé, maison Bréguet (France); Schuckert, Siemens et Halske (Allemagne). Nous dirons quelques mots seulement de quelques-uns d'entre eux et au point de vue exclusivement électrique.

La lampe de MM. Barbier et Bénard est disposée pour recevoir des charbons à section étoilée, dont le diamètre extérieur peut aller jusqu'à 7 centimètres pour des courants de 300 à 350 ampères.

Une partie tout à fait spéciale de cette lampe consiste dans le dispositif d'amenée du courant aux porte-charbons par l'emploi de deux tiges glissant dans des tubes remplis de mercure. Cette disposition évite les balais employés en général pour ces lampes et qui deviennent très difficiles à exécuter dès que les intensités deviennent considérables.

La maison Barbier et Bénard exposait également des lampes à charbons horizontaux pour projecteurs, avec commande des charbons automatique ou à la main.

Les lampes à incandescence sont aussi appliquées aux signaux lumineux; dans cet ordre d'idées, la même maison exposait une bouée flottante munie de deux lampes, dont

une seule fonctionne et dont l'autre, servant de réserve, entre automatiquement en circuit si la première se brise. Ces lampes sont alimentées par une batterie de piles placée dans un coffre étanche ; un interrupteur automatique, commandé par une horloge également placée dans une boîte étanche, interrompt le courant pendant 15 secondes et donne des éclats de 5 secondes. L'horloge porte en outre des contacts réglables, permettant de supprimer tout allumage pendant le jour et remettant la lampe en service chaque soir.

Lampe Bréguet pour projecteurs. — Cette lampe appartient à la catégorie des lampes-moteurs : les deux charbons sont horizontaux et portés par deux chariots mobiles sur rails ; un barillet, sollicité par un ressort et une crémaillère, tend constamment à écarter les charbons l'un de l'autre ; un moteur électrique, au contraire, tend à les rapprocher en bandant le ressort du barillet. Normalement, les charbons sont écartés et l'induit du moteur est en court-circuit ; ce court-circuit est établi par l'armature d'un relai monté en dérivation aux bornes de l'arc. Le moteur, excité en série, est également monté en dérivation. Lorsqu'on ferme le circuit, la différence de potentiel aux charbons étant considérable, le relai fonctionne et rompt le court-circuit de l'induit du moteur ; celui-ci se met à tourner en rapprochant les charbons. Dès que ceux-ci le touchent, le relai cesse d'agir, l'induit est mis en court-circuit, et, sous l'influence du ressort et du barillet, les deux charbons s'écartent : l'arc est amorcé. Dès qu'il a atteint une longueur suffisante, le moteur recommence à fonctionner, et ainsi l'équilibre s'établit entre l'action du moteur et celle du ressort. La même lampe se prête également au réglage à main. Comme tous les systèmes de régulateurs en dérivation, celui-ci a l'avantage de pouvoir être employé sans nouveau réglage pour des intensités très variées.

Lampe Sautter-Harlé pour projecteurs. — La maison Sautter-Harlé exposait deux types de lampes pour projecteurs : l'une à charbons inclinés, l'autre à charbons horizontaux ; toutes deux sont des lampes à moteurs. Le rapprochement des charbons est effectué par des vis sans fin commandées par un moteur électrique ; dès que les charbons se touchent, le courant est rompu dans l'induit du moteur, et un ressort écarte légèrement les charbons ; le réglage se continue par un équilibre entre l'action du ressort et celle du moteur.

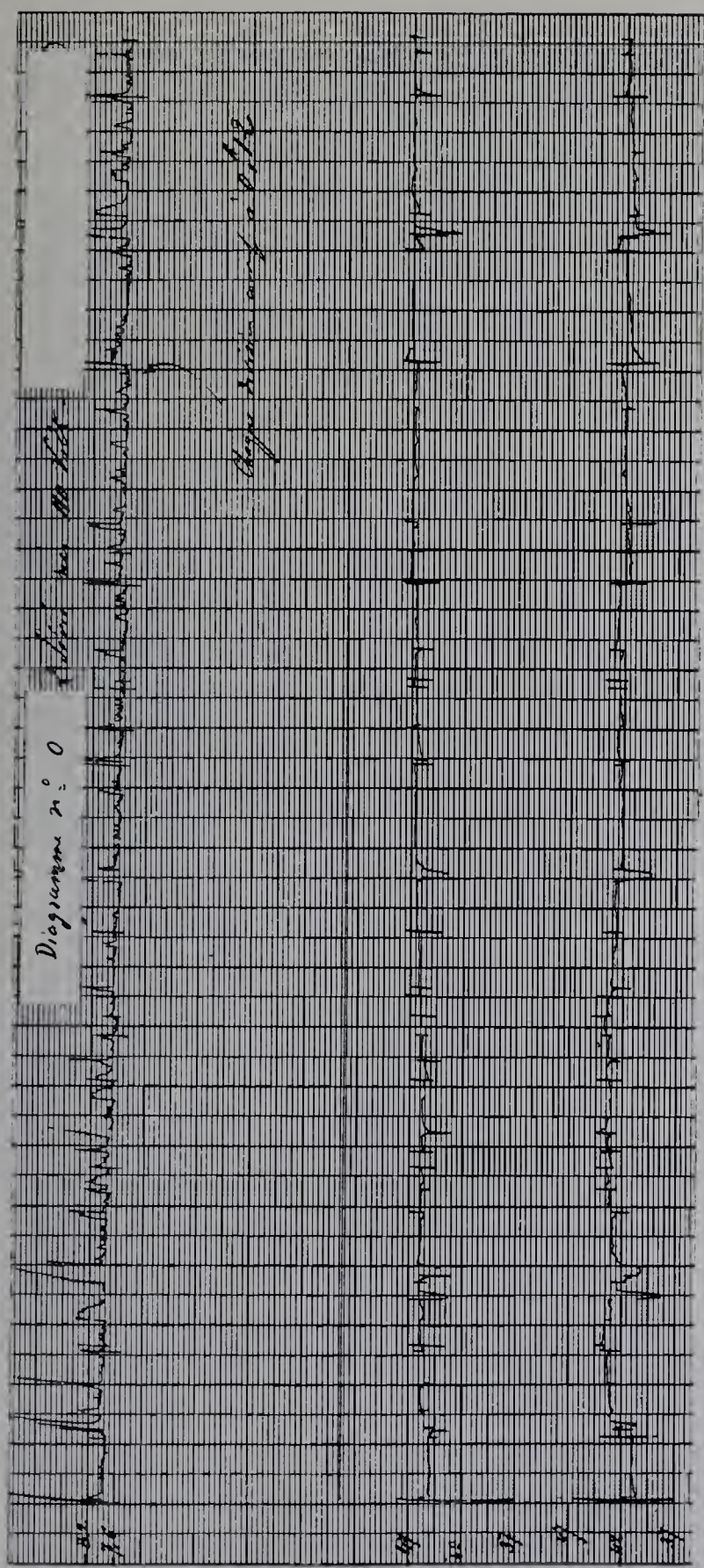
La maison Sautter-Harlé, ainsi que la maison Bréguet, exposaient de très intéressants appareils de commande à distance pour les projecteurs. Il sortirait de notre cadre de les étudier ici.

CHAPITRE VII.

DIAGRAMMES DE FONCTIONNEMENT.

Les différentes lampes qui nous avaient été confiées ont été essayées au moyen de l'ampèremètre-voltmètre enregistreur triple qui avait été construit sur mes indications, spécialement dans ce but, par la maison J. Richard. Cet appareil, qui comprend un

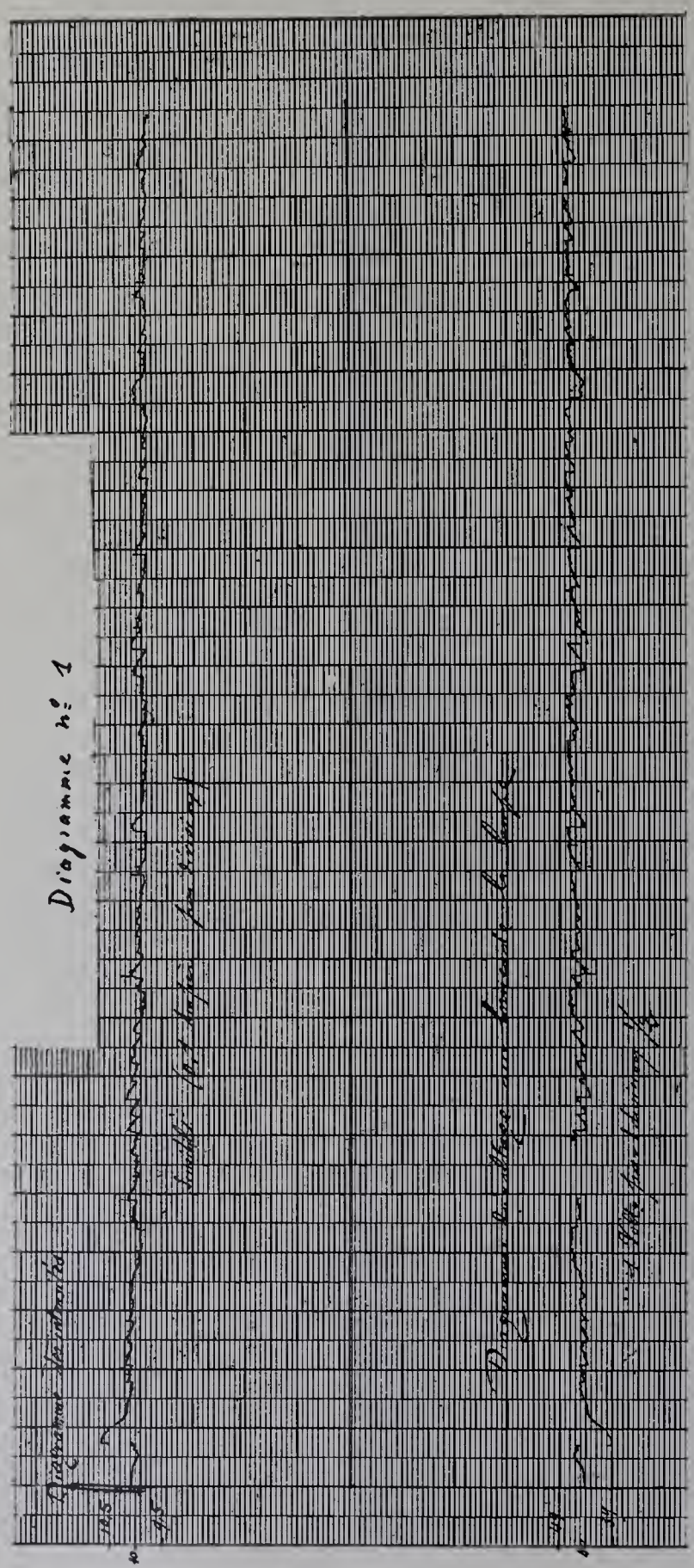
ampèremètre et trois voltmètres, permet d'enregistrer, sur une même feuille de papier et au même instant, sur la même ordonnée : 1° l'intensité du courant ; 2° la différence du potentiel aux bornes de trois lampes en série : c'est à peu près le cas le plus compliqué qui peut se présenter dans la pratique. Pour quelques diagrammes en courant alternatif, on s'est servi d'un appareil thermique. En général, le constructeur ou l'un de ses représentants assistaient à l'essai pour régler la lampe et constater qu'elle marchait dans des conditions normales. Après l'enregistrement, les charbons étaient mis de côté pour servir ultérieurement aux essais photométriques que l'on trouvera dans le chapitre suivant.



LAMPE ÉQUILIBRÉE, DIFFÉRENTIELLE.

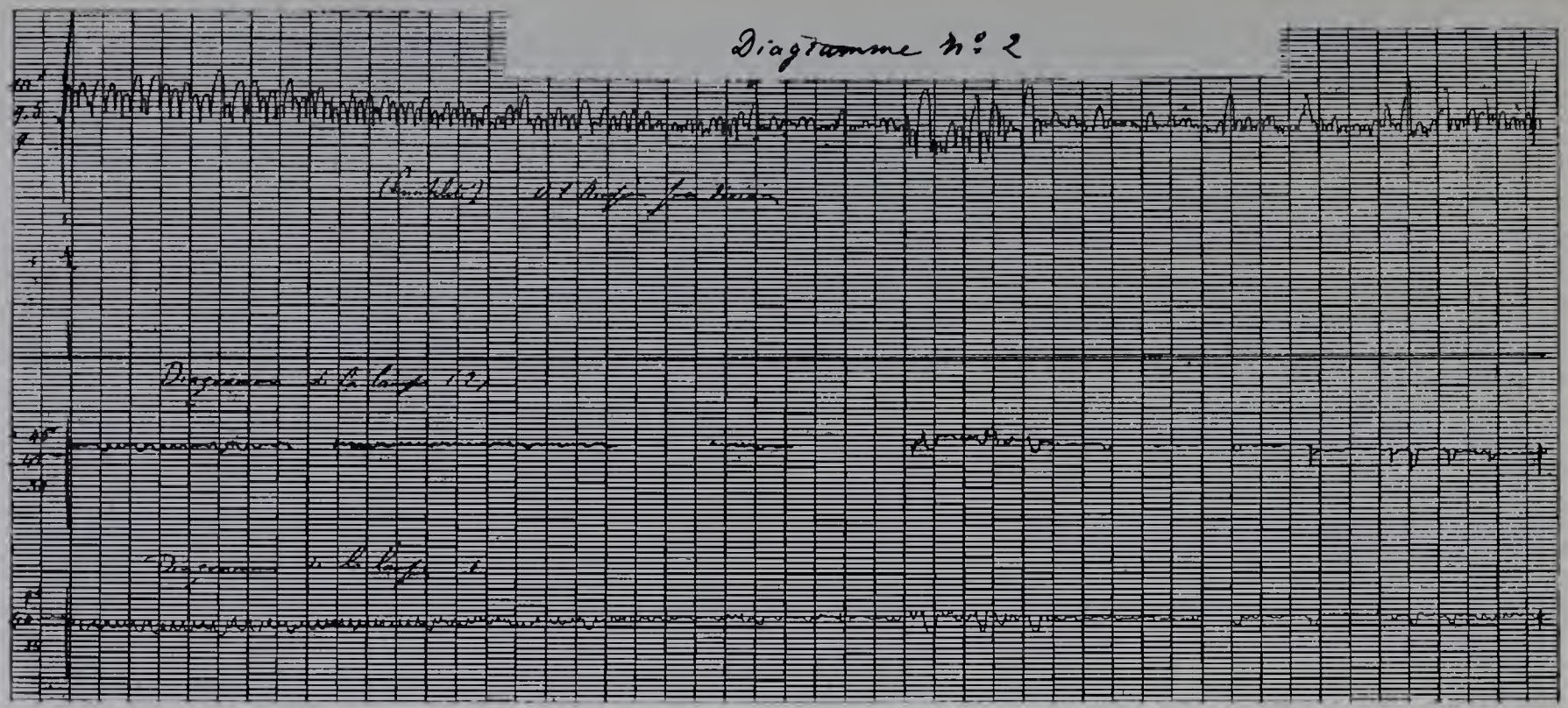
(2 lampes en série sur 110 volts.)

Différence de potentiel aux bornes	de la première lampe	47 volts.
	de la deuxième lampe	42
Intensité		8 ampères.
Charbons A_1	Supérieur à âme	17 millimètres.
	Inférieur homogène	11



LAMPE ÉQUILIBRÉE, DIFFÉRENTIELLE.

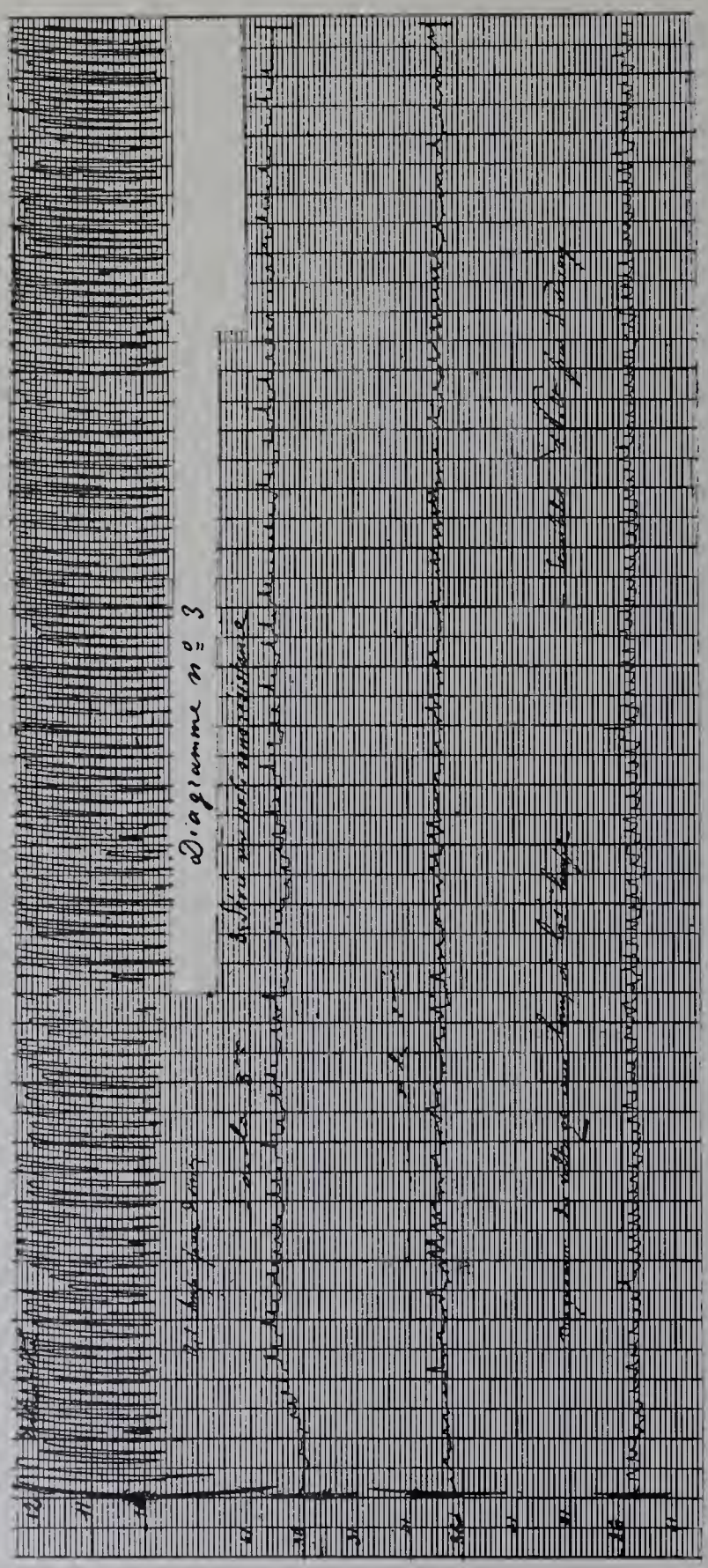
Différence de potentiel	employée	87 volts.
	aux bornes de la lampe	46
Intensité		10 ampères.
Charbons F	Supérieur à âme	17 millimètres.
	Inférieur homogène	12
Usure horaire	+	15
	−	14.4



LAMPE ÉQUILIBRÉE, DÉRIVATION, ALLUMAGE DIFFÉRENTIEL.

(2 lampes en série sur 110 volts.)

Résistance de la bobine en dérivation			1,000 ohms.
Tension moyenne aux bornes	de la première lampe		41 volts.
	de la deuxième lampe		44
Intensité moyenne			9.5 ampères.
Charbons I	Supérieur à âme		14 millimètres.
	Inférieur homogène		10
Usure horaire	1re lampe	$+22^{mm}$	-20^{mm} 5.
	2e lampe	$+22$ 8	-18

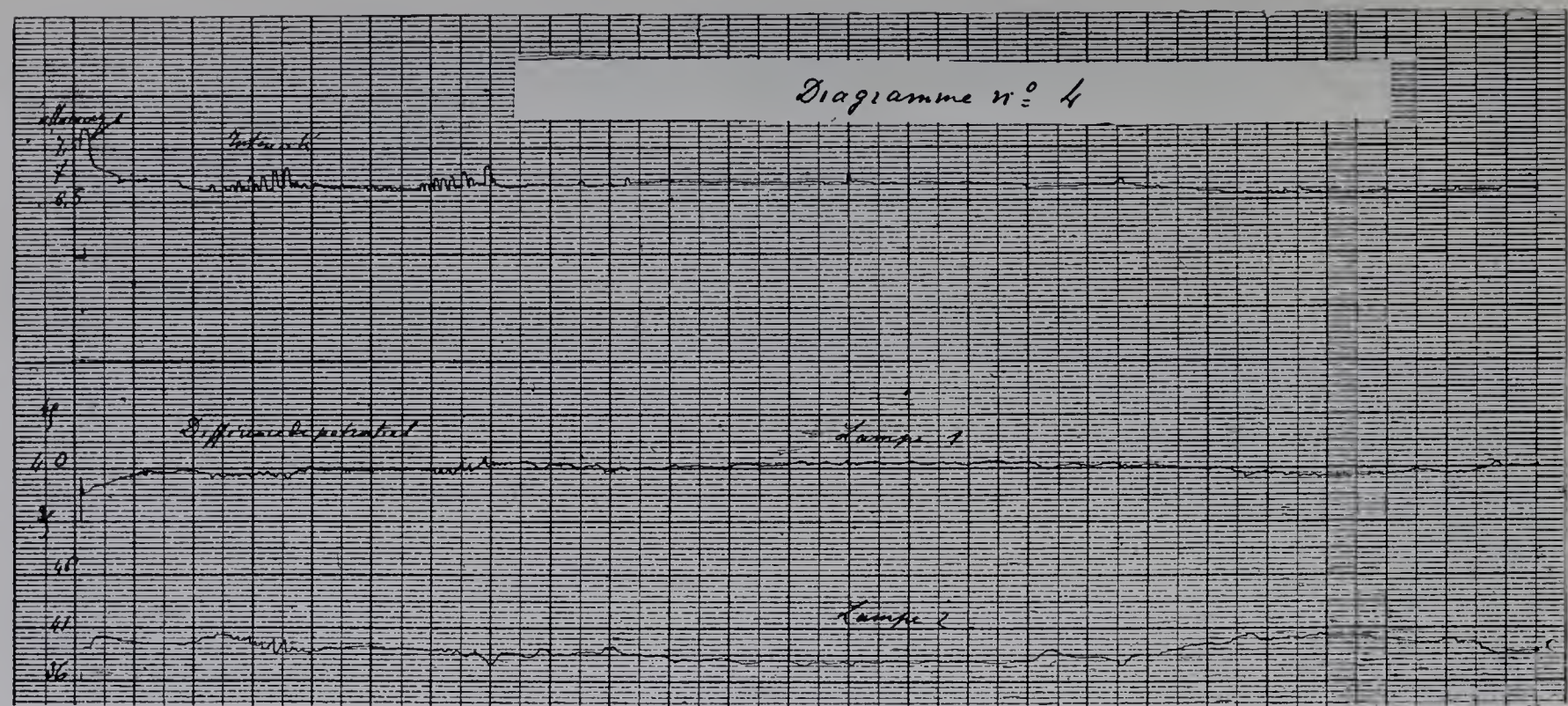


LAMPE ÉQUILIBRÉE, DÉRIVATION, ALLUMAGE DIFFÉRENTIEL.

(3 lampes en série sur 110 volts sans résistance.)

Intensité moyenne..... 11 ampères.

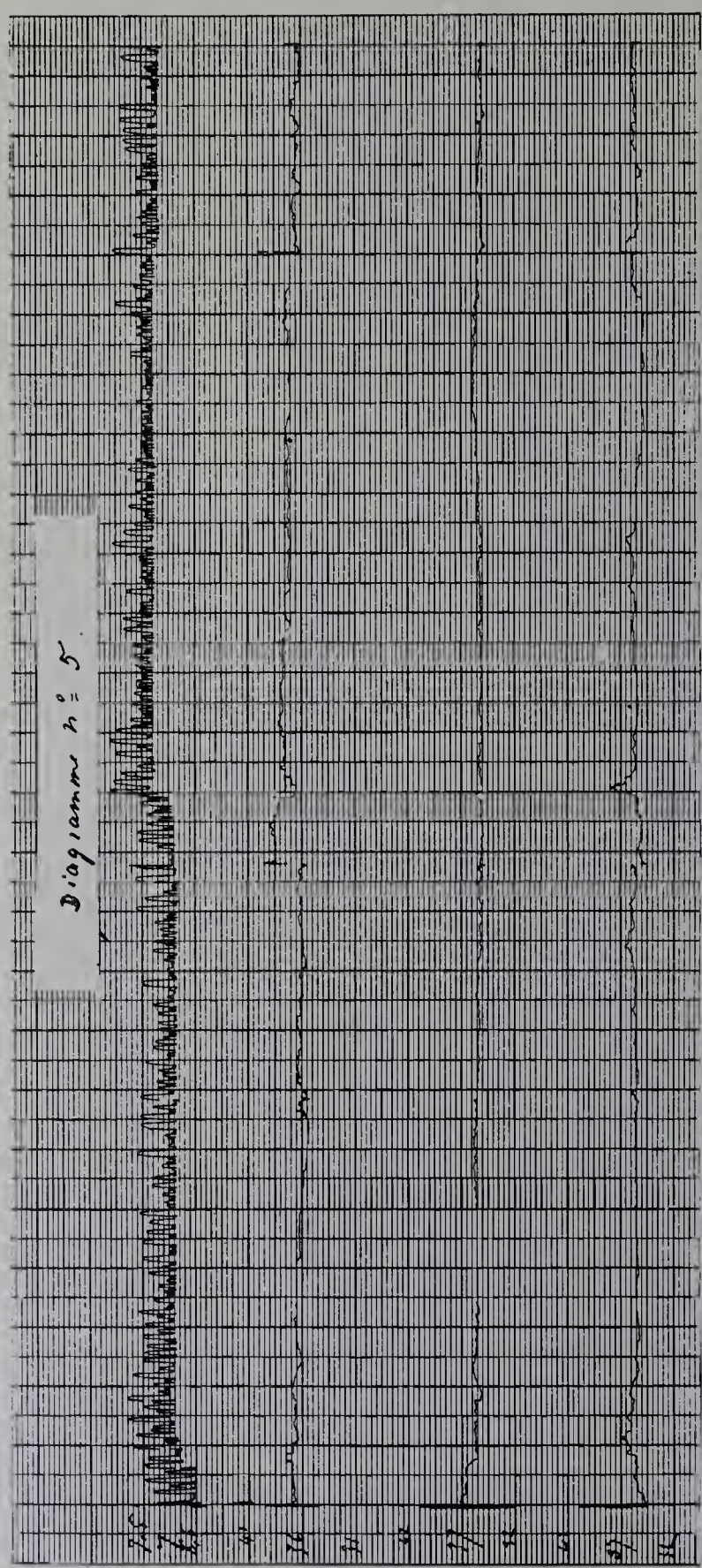
Charbons H.



LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(2 en série sur 110 volts.)

Résistance de la bobine	Série	0.15	ohm.
	Dérivation	365	
Différence de potentiel moyenne aux bornes des deux lampes		79	volts.
Intensité moyenne		6.7	ampères.
Charbons A	Supérieur à âme	13	millimètres.
	Inférieur homogène	8	
Usure horaire	+	21.3	
	−	26.3	

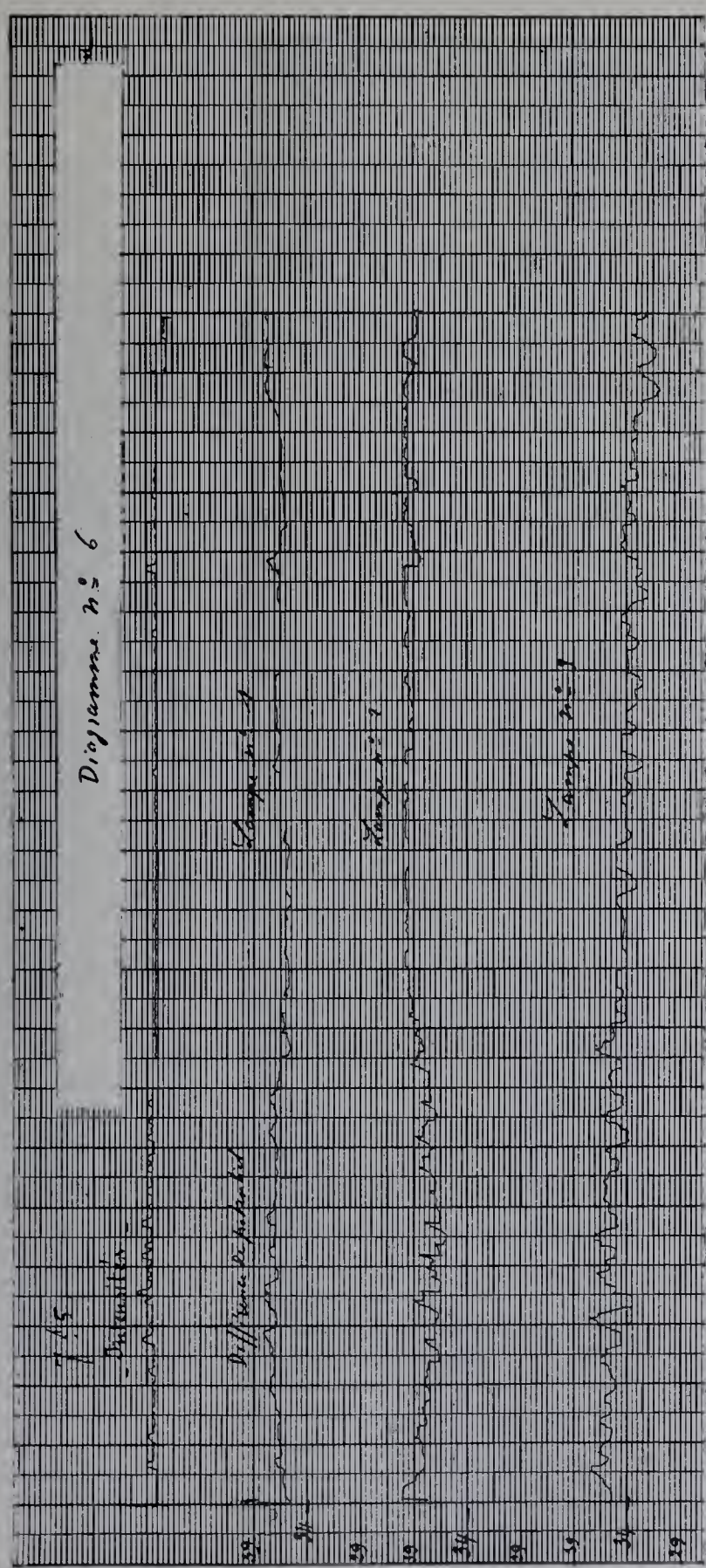


LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(3 en série sur 110 volts.)

Intensité du courant..... 7 à 7.5 ampères.

Charbons.... ..... { Supérieur à âme (A_2)..... 13 millimètres.
Inférieur homogène (A_1)..... 8

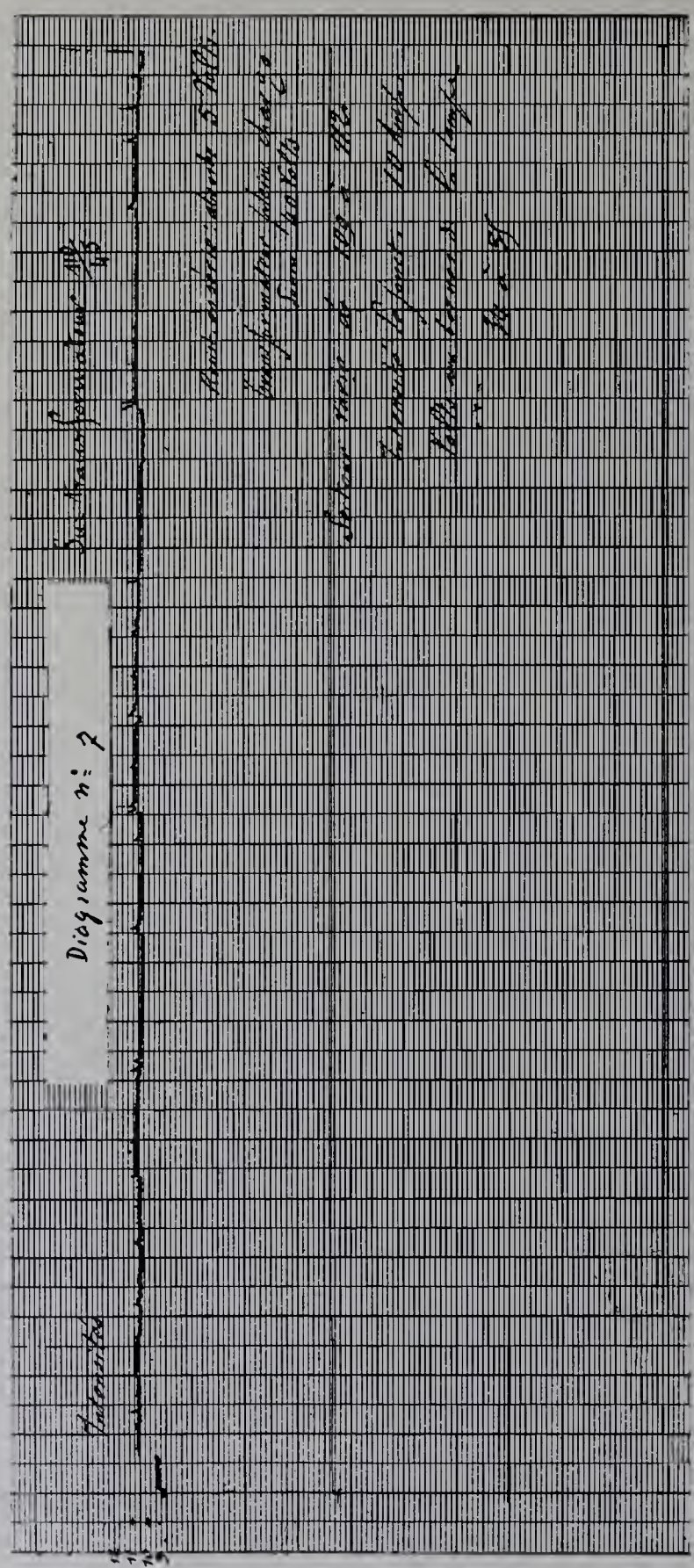


LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(Autre réglage.)

Intensité du courant ..... 7 à 7.5 ampères.

Charbons ... . { Supérieur à âme (A_2)..... 13 millimètres.
Inférieur homogène..... 8

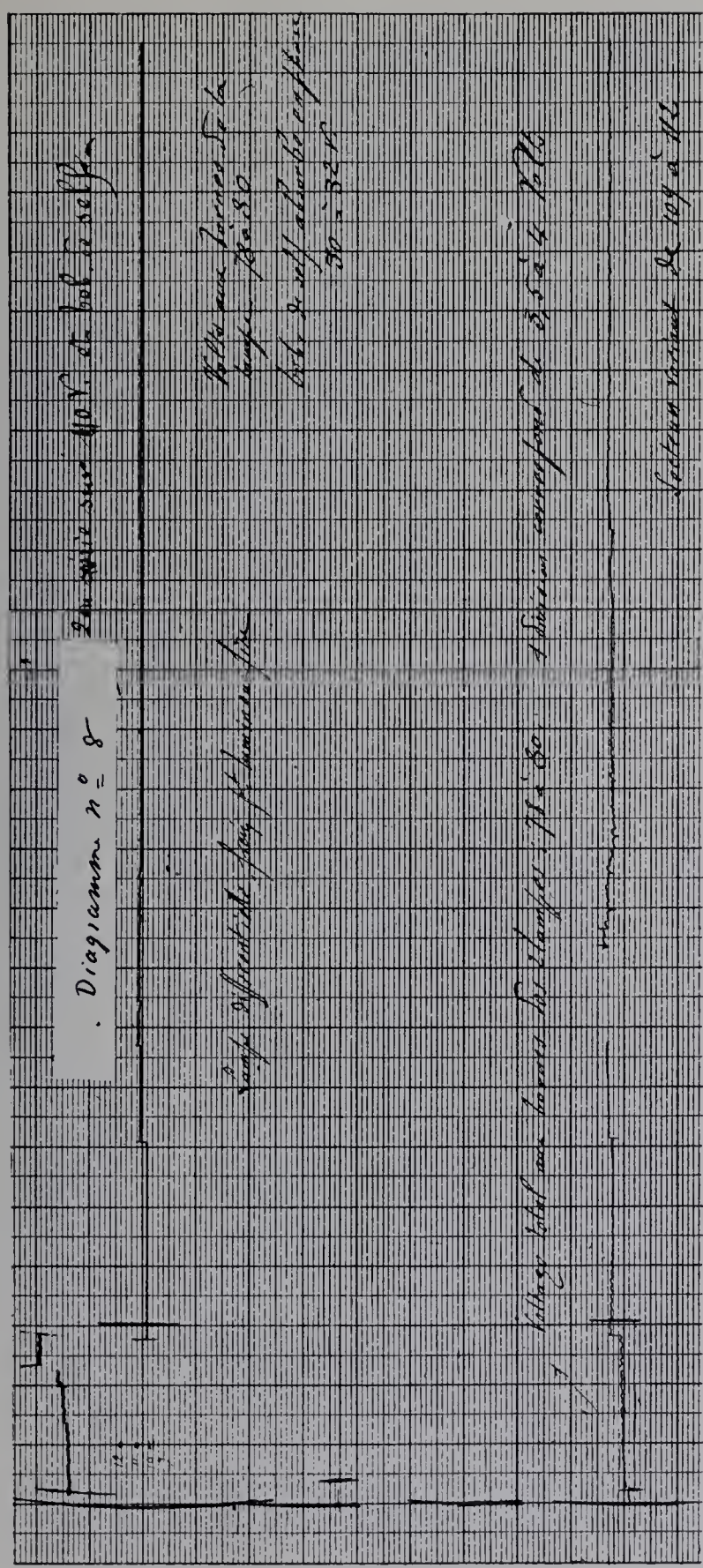


LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE, COURANT ALTERNATIF.

(Une seule lampe sur transformateur $\frac{110}{43}$.)

Différence de potentiel aux bornes { de la résistance en série..... 5 volts.
de la lampe..... 34 à 35

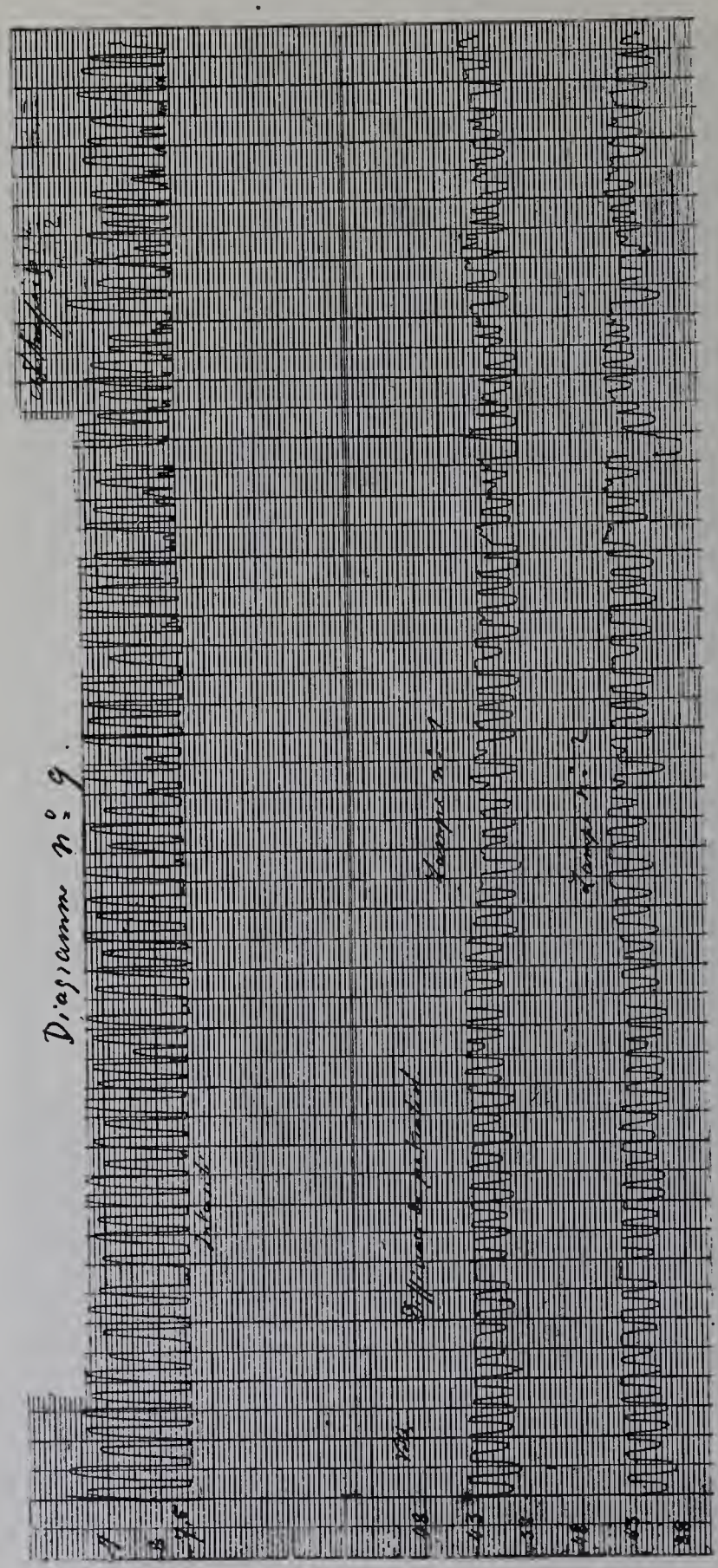
Intensité moyenne..... 10 ampères.



LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE, COURANT ALTERNATIF.

(2 en série avec bobine de réaction sur 110 volts.)

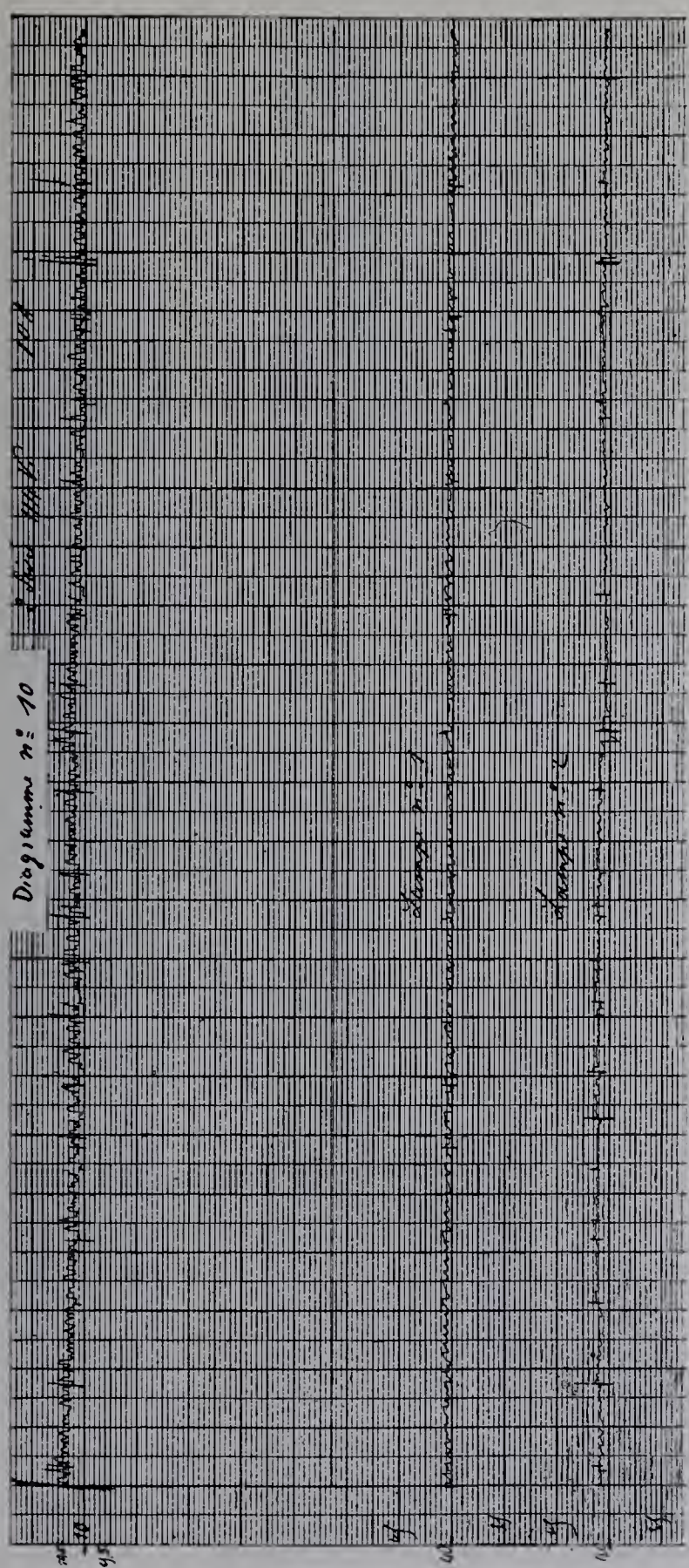
Différence de potentiel aux bornes	de la bobine de réaction	30 à 35 volts.
	des deux lampes	78 à 80
Intensité moyenne		10.5 ampères.



LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(2 en série sur 110 volts avec résistance en série.)

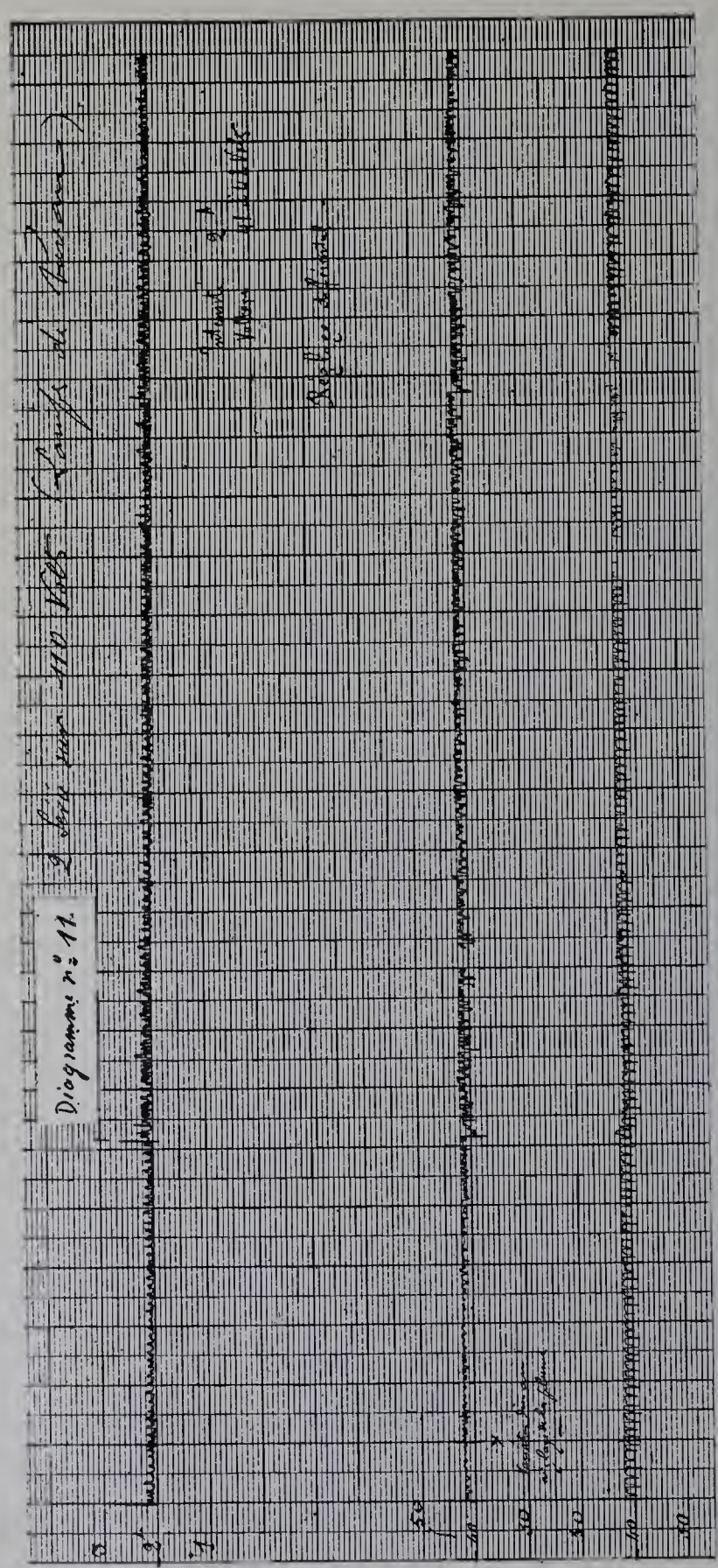
Différence de potentiel moyenne aux bornes d'une lampe	43 volts.
Intensité moyenne	8 ampères.
Charbons D { Supérieur à âme	12 millimètres.
Charbons D { Inférieur homogène	12



LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(2 en série sur 114 volts avec résistance.)

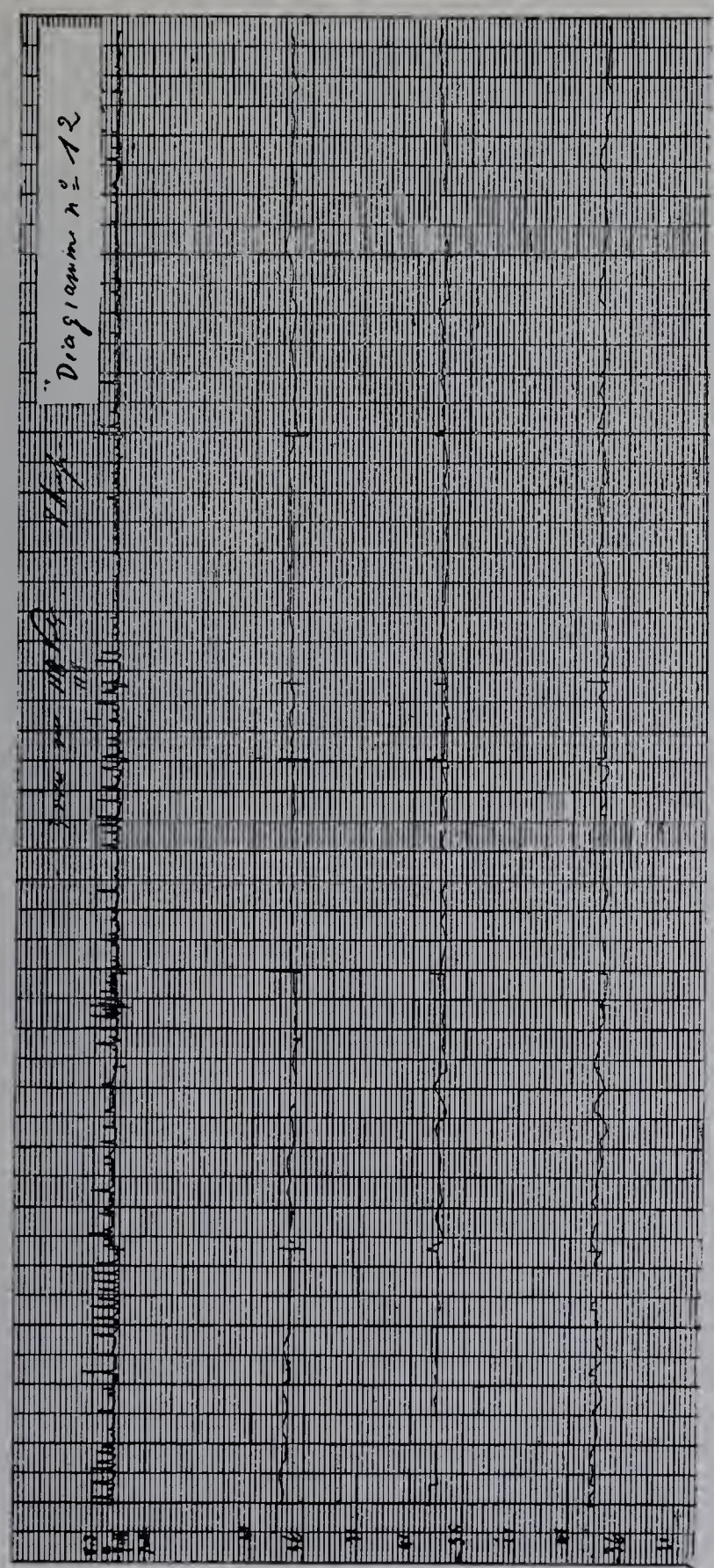
Différence de potentiel aux bornes	de chaque lampe	41 volts.
	du rhéostat	32
Intensité		10 ampères.
Charbons D	Supérieur à âme	16 millimètres.
	Inférieur homogène	10



LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE, À FAIBLE INTENSITÉ.

(Lampe de bureau.)

Différence de potentiel	aux bornes de chaque lampe	41 à 42 volts.
	totale	110
Intensité		2 ampères.
Charbons G	Supérieur à âme	8 millimètres.
	Inférieur homogène	5

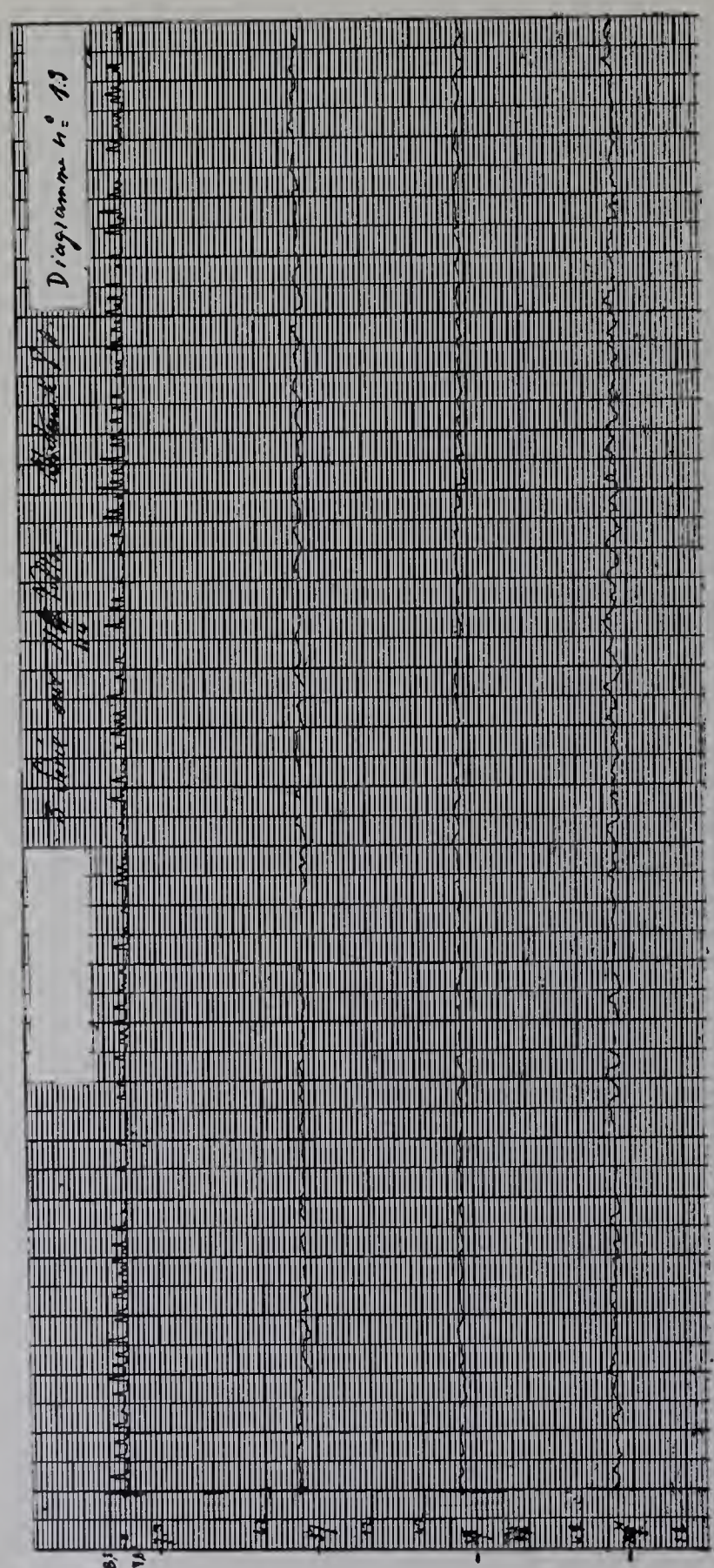


LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(3 en série sur 118 volts sans résistance.)

Résistance de la bobine	Série à chaud	0.12 ohm.
	Dérivation	440
Intensité du courant		8 ampères.
Charbons G	Supérieur à âme	14 millimètres.
	Inférieur homogène	9

IMPRIMERIE NATIONALE.

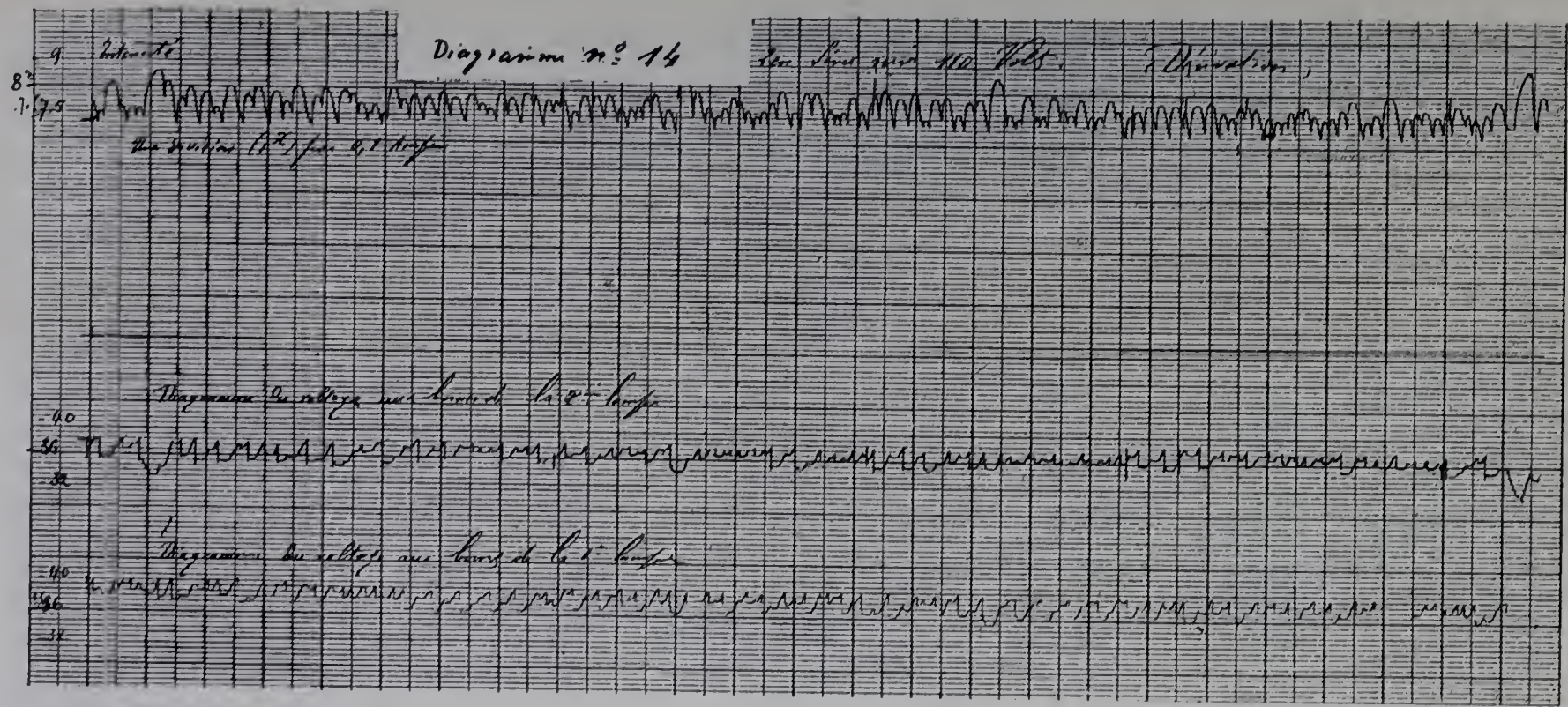


LAMPE À FREIN DIFFÉRENTIELLE.

(3 en série sur 114 volts.)

Intensité..... 8 ampères.

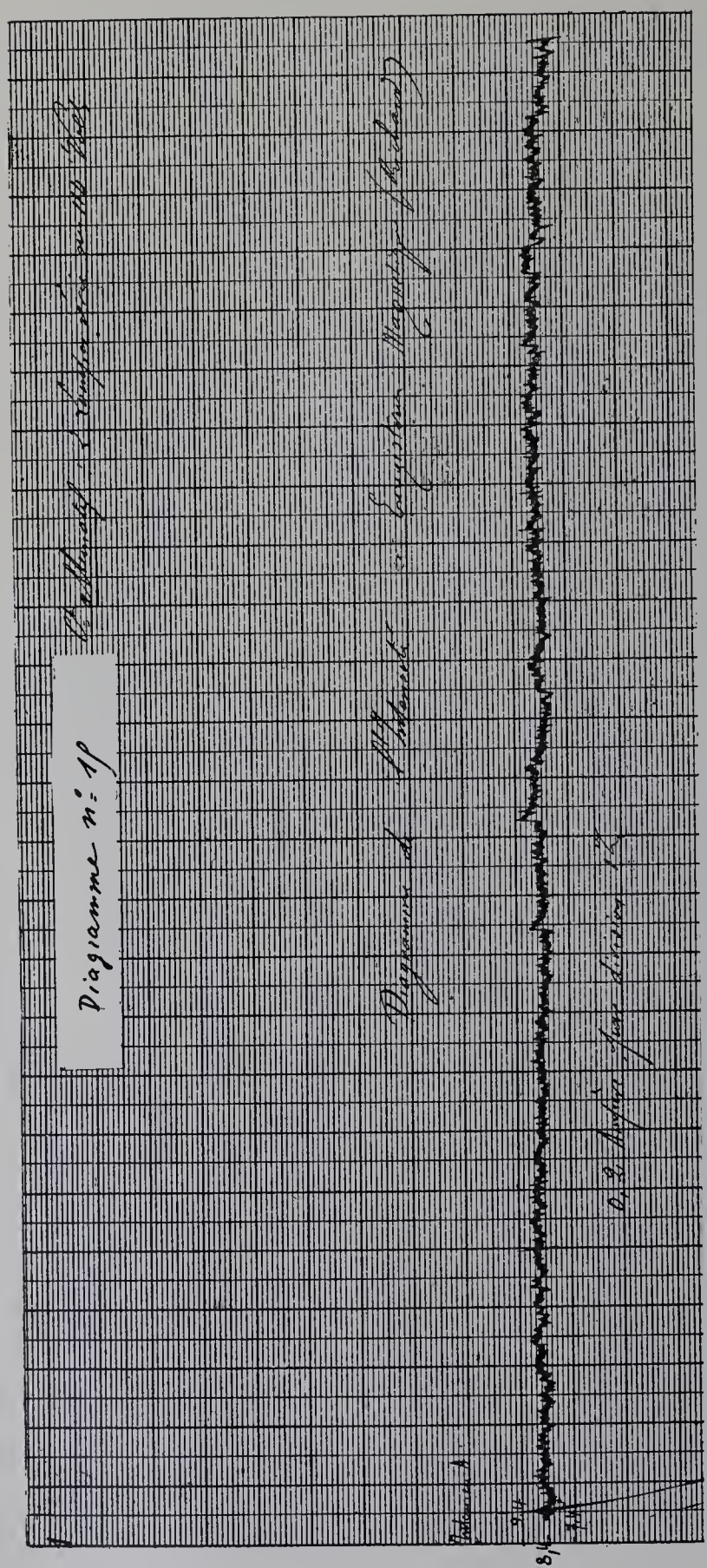
Charbons A..... { Supérieur à âme..... 13 millimètres.
Inférieur homogène..... 8



LAMPE À DÉCLENCHEMENT, MOUVEMENT D'HORLOGERIE, DÉRIVATION.

(2 lampes en série sur 110 volts.)

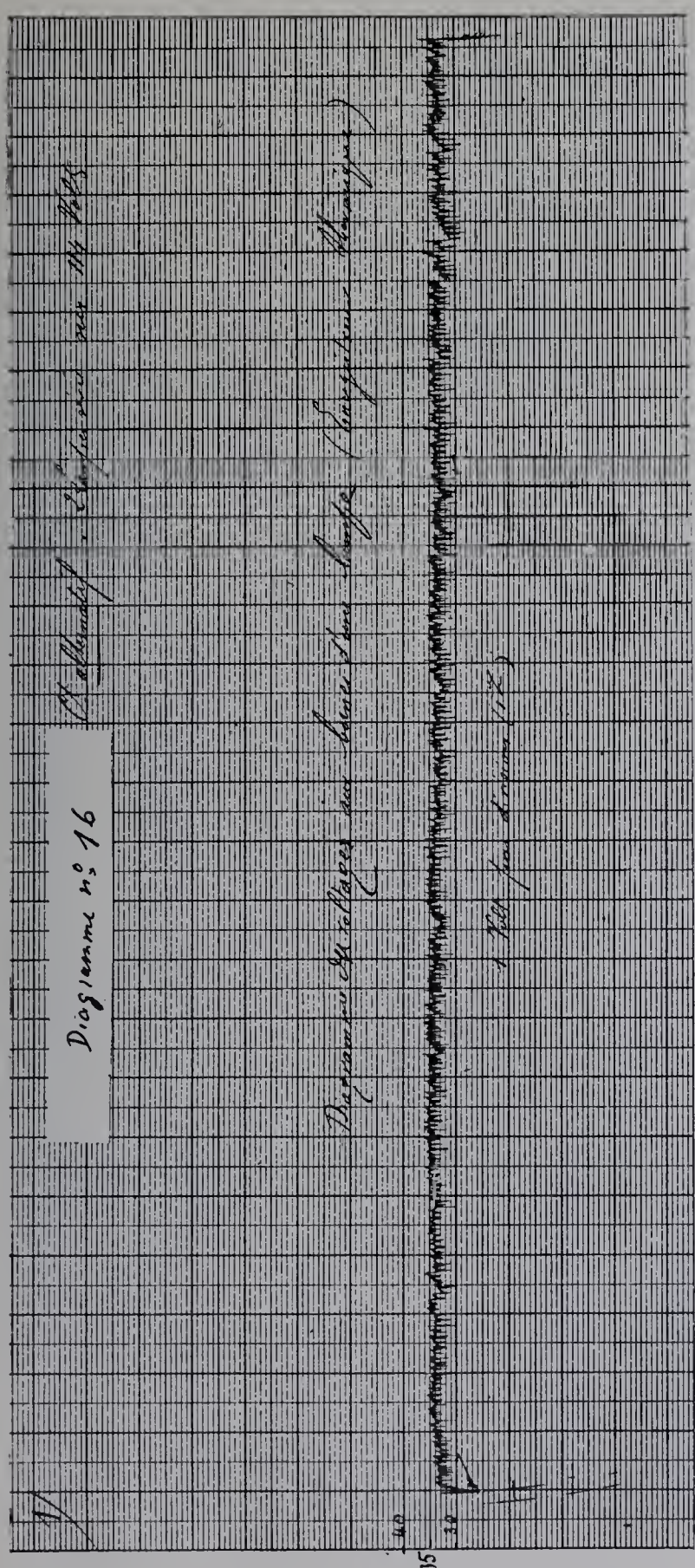
Résitance de la bobine dérivée....	à froid	172	ohms.
	à chaud	220 à 230	
Intensité		7.5 à 8	ampères.
Différence de potentiel	1re lampe	37 à 39	volts.
	2e lampe	36 à 37	
Charbons A_2	Supérieur à âme	16	millimètres.
	Inférieur homogène	10	
Usure horaire	1re lampe	$+13^{mm}7$	$-13^{mm}4$.
	2e lampe	$+13\ 7$	$-13\ 3$.



LAMPE À DÉCLENCHEMENT, COURANT ALTERNATIF, FRÉQUENCE 42.

(Diagramme de l'intensité : 2 en série sur 114 à 117 volts.)

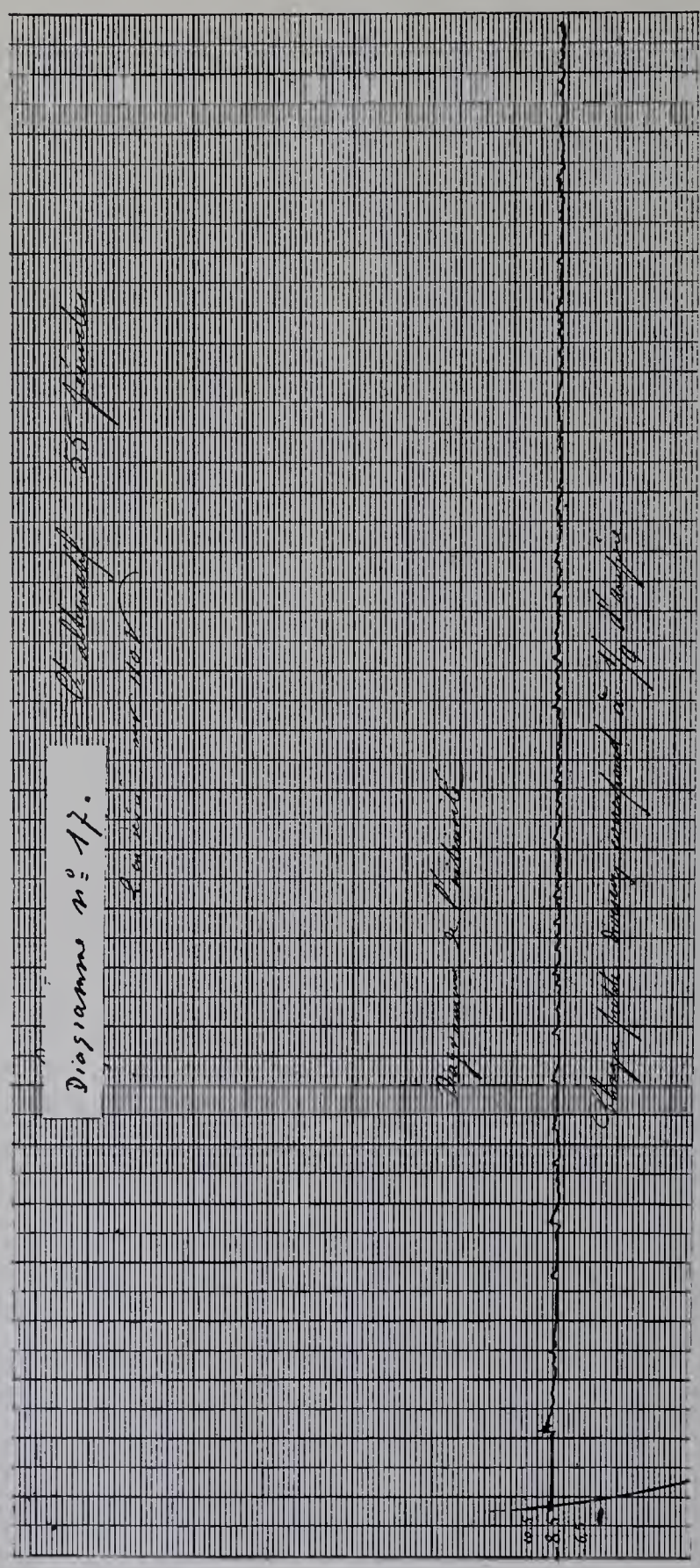
Intensité		8 à 8.5 ampères.
Différence de potentiel aux bornes d'une lampe		34 volts.
Charbons	Supérieur à âme	13 millimètres.
	Inférieur à âme	13
Usure horaire pour une lampe	Charbon supérieur	16.4
	Charbon inférieur	17.8



LAMPE À DÉCLENCHEMENT, COURANT ALTERNATIF, FRÉQUENCE 42.

(Diagramme de la différence de potentiel aux bornes d'une lampe.)

Intensité		8 à 8.5 ampères.
Différence de potentiel aux bornes d'une lampe		34 volts.
Charbons	Supérieur à âme	13 millimètres.
	Inférieur à âme	13
Usure horaire pour une lampe	Charbon supérieur	16.4
	Charbon inférieur	17.8

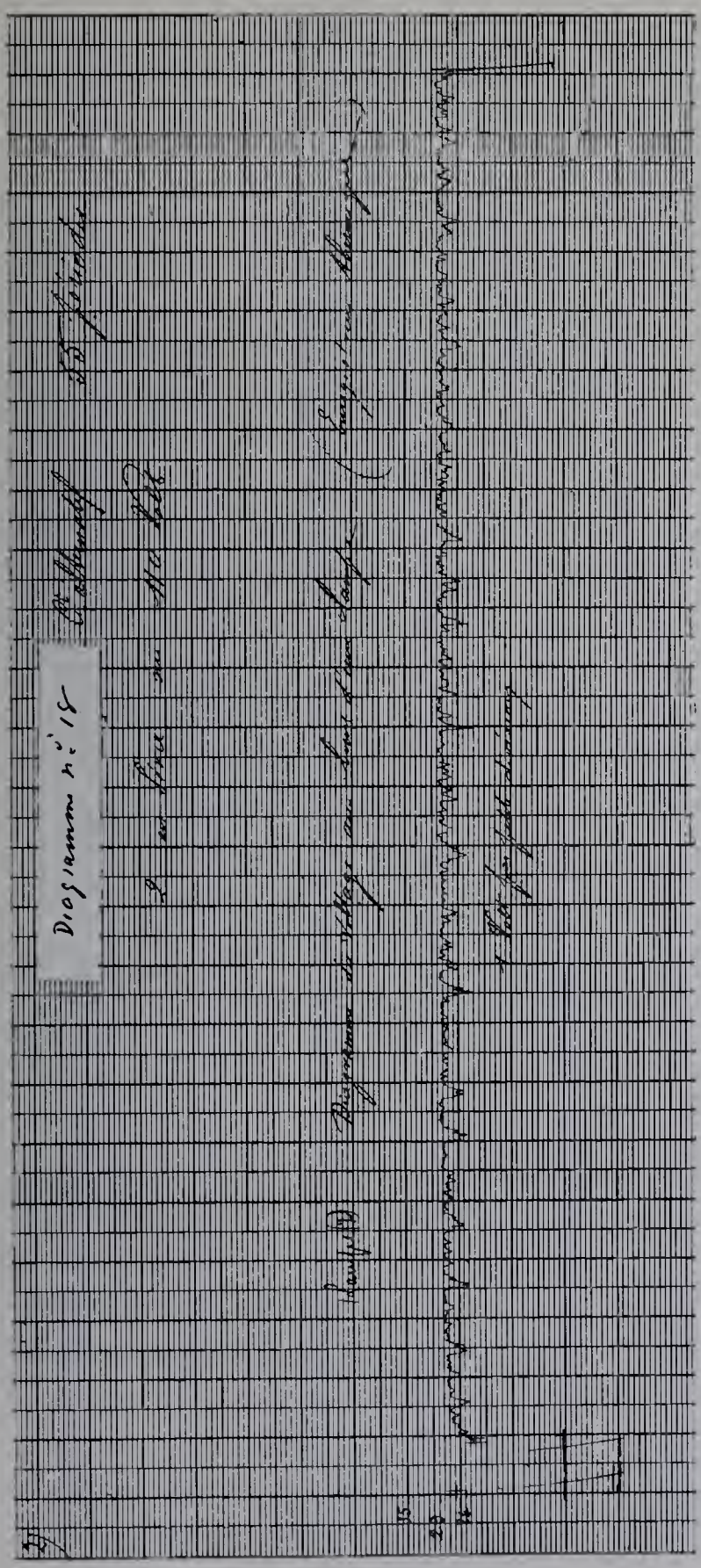


LAMPE À DÉCLENCHEMENT, FRÉQUENCE 55.

(Diagramme de l'intensité : 2 lampes en série sur 110 volts.)

Intensité		8.5 à 8.9 ampères.
Différence de potentiel aux bornes d'une lampe		28 volts.
Charbons A.	Supérieur à âme	13 millimètres.
	Inférieur à âme	13

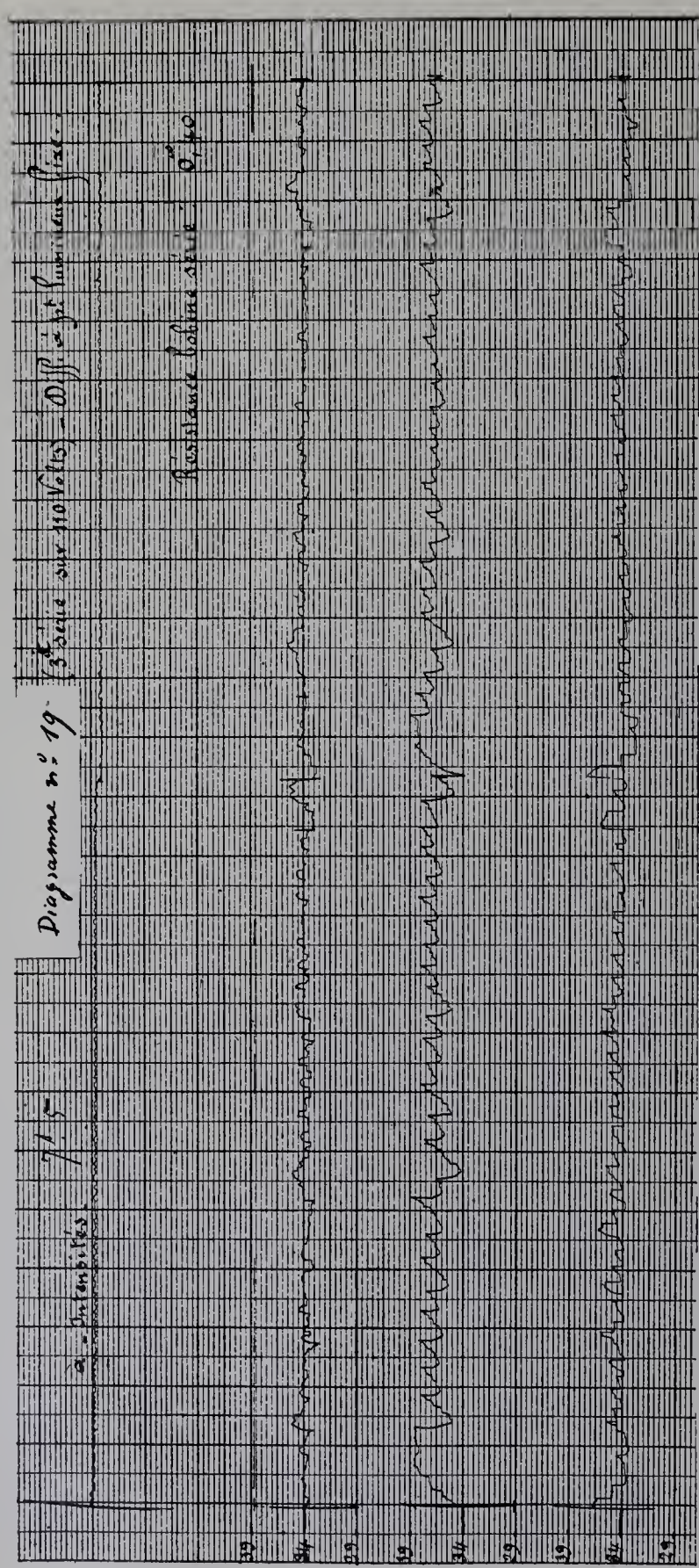
		LAMPE 1.	LAMPE 2.
Usure horaire	Charbon supérieur	17.7	17.4
	Charbon inférieur	17.4	17.1



LAMPE À DÉCLENCHEMENT, FRÉQUENCE 55.

(Diagramme de la différence de potentiel aux bornes d'une lampe.)

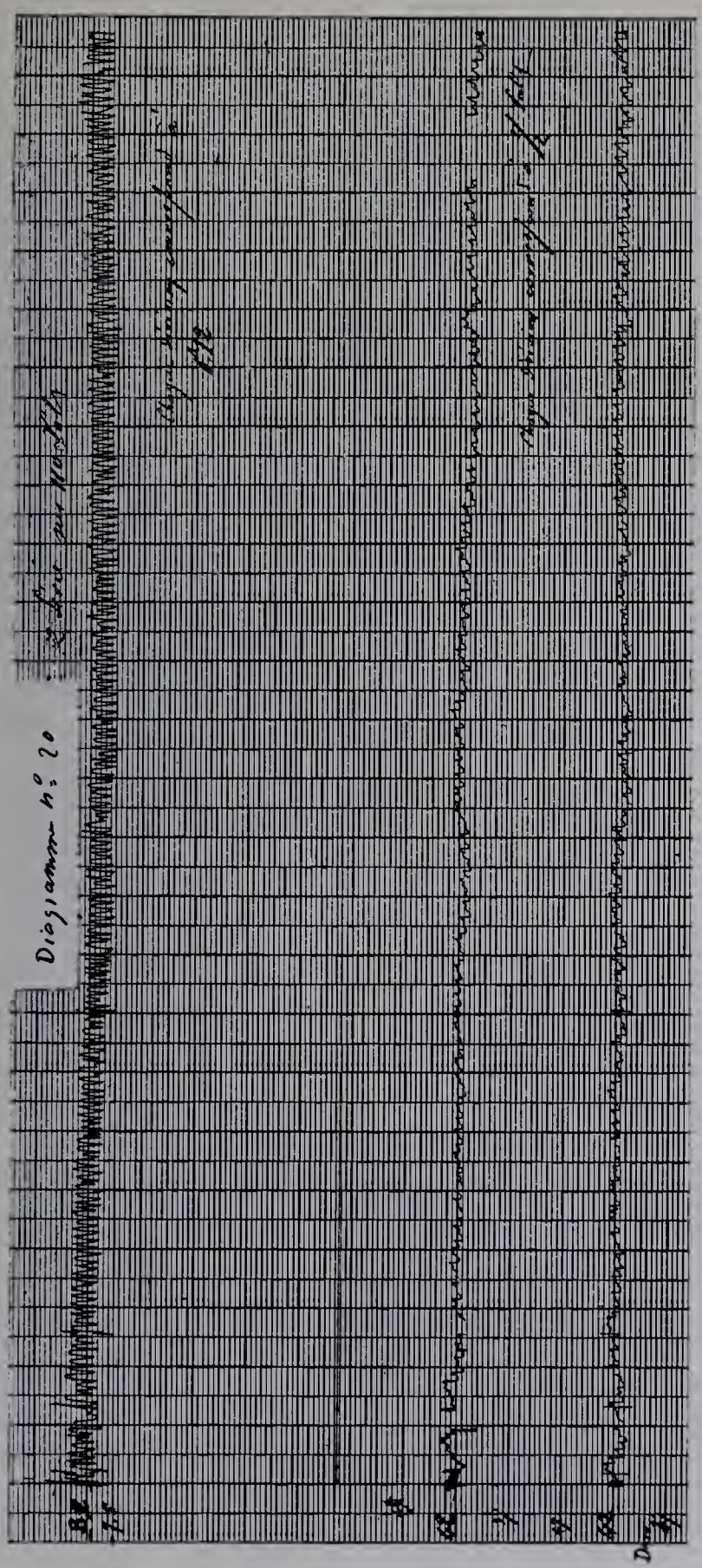
Intensité			8.5 à 8.7 ampères.
Différence de potentiel aux bornes d'une lampe			38 volts.
Charbons A	Supérieur à âme		13 millimètres.
	Inférieur à âme		13
		LAMPE 1.	LAMPE 2.
Usure horaire	Charbon supérieur	17·7	1/.4
	Charbon inférieur	17.4	17.1



LAMPE À DÉCLENCHEMENT, MOUVEMENT D'HORLOGERIE, DIFFÉRENTIELLE.

(3 en série sur 110 volts.)

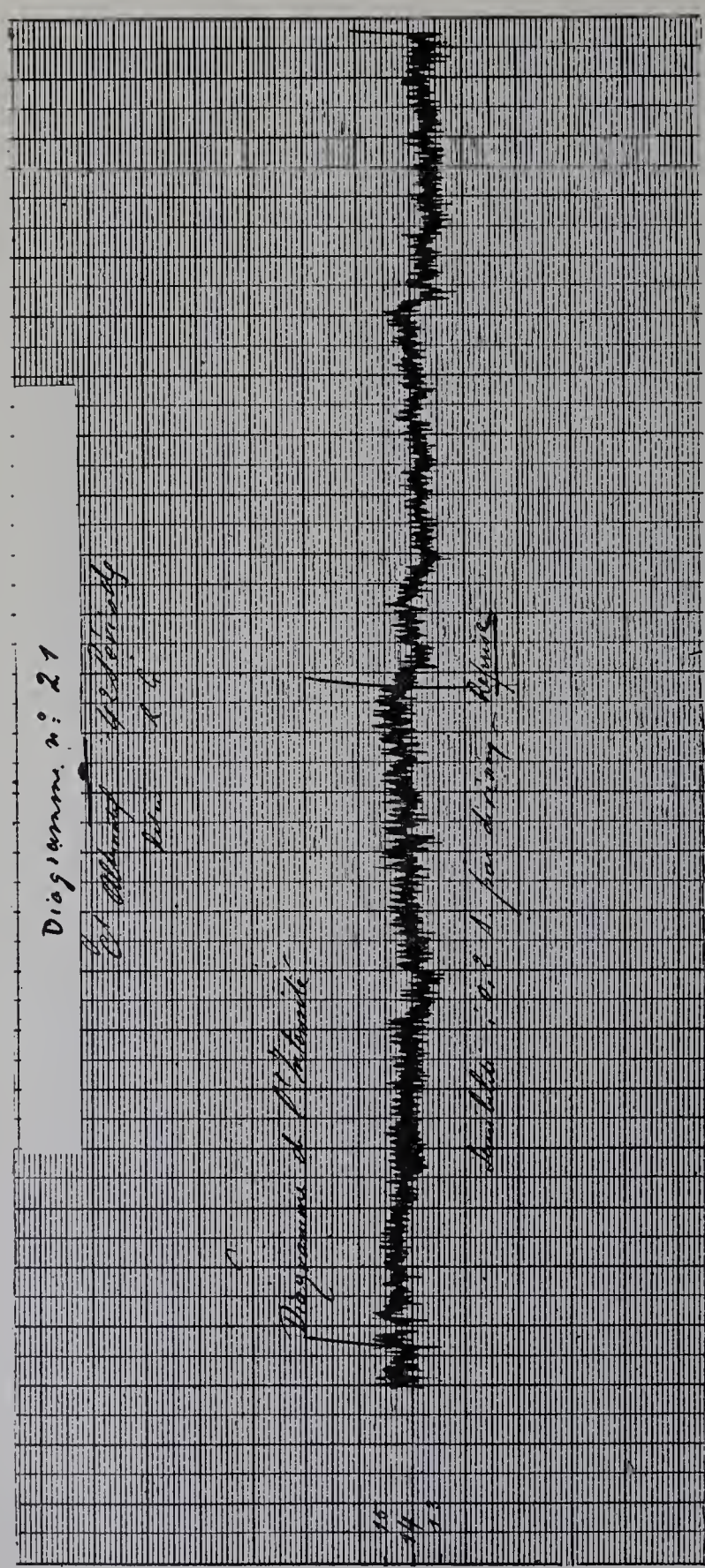
Résistance de la bobine série		0,40 ohm.
Intensité du courant		7,5 ampères.
Charbons + A_2 et − D	Supérieur à âme	13 millimètres.
	Inférieur homogène	8



LAMPE À DÉCLENCHEMENT, MOUVEMENT D'HORLOGERIE, DIFFÉRENTIELLE.

(2 en série sur 110 volts.)

Différence de potentiel aux bornes	d'une lampe	42 volts.
	du rhéostat	26
Intensité moyenne		8 ampères.
Résistance de la bobine en dérivation		450 à 500 ohms.
Charbons A_1	Supérieur à âme	17 millimètres
	Inférieur homogène	11

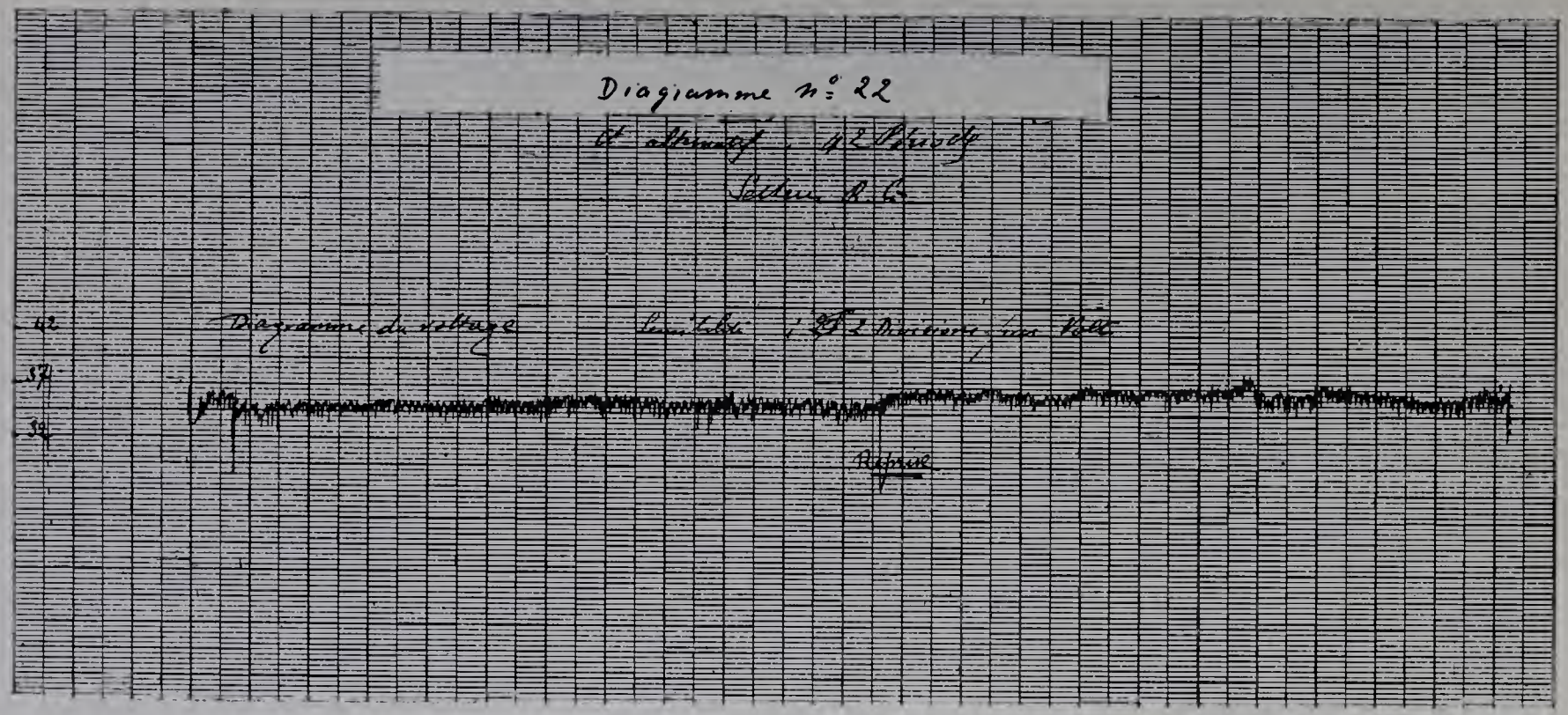


LAMPE À DÉCLENCHEMENT, MOUVEMENT D'HORLOGERIE, DIFFÉRENTIELLE,

COURANT ALTERNATIF, FRÉQUENCE 42.

(Diagramme de l'intensité : 1 lampe sur 58 volts avec bobine de réaction.)

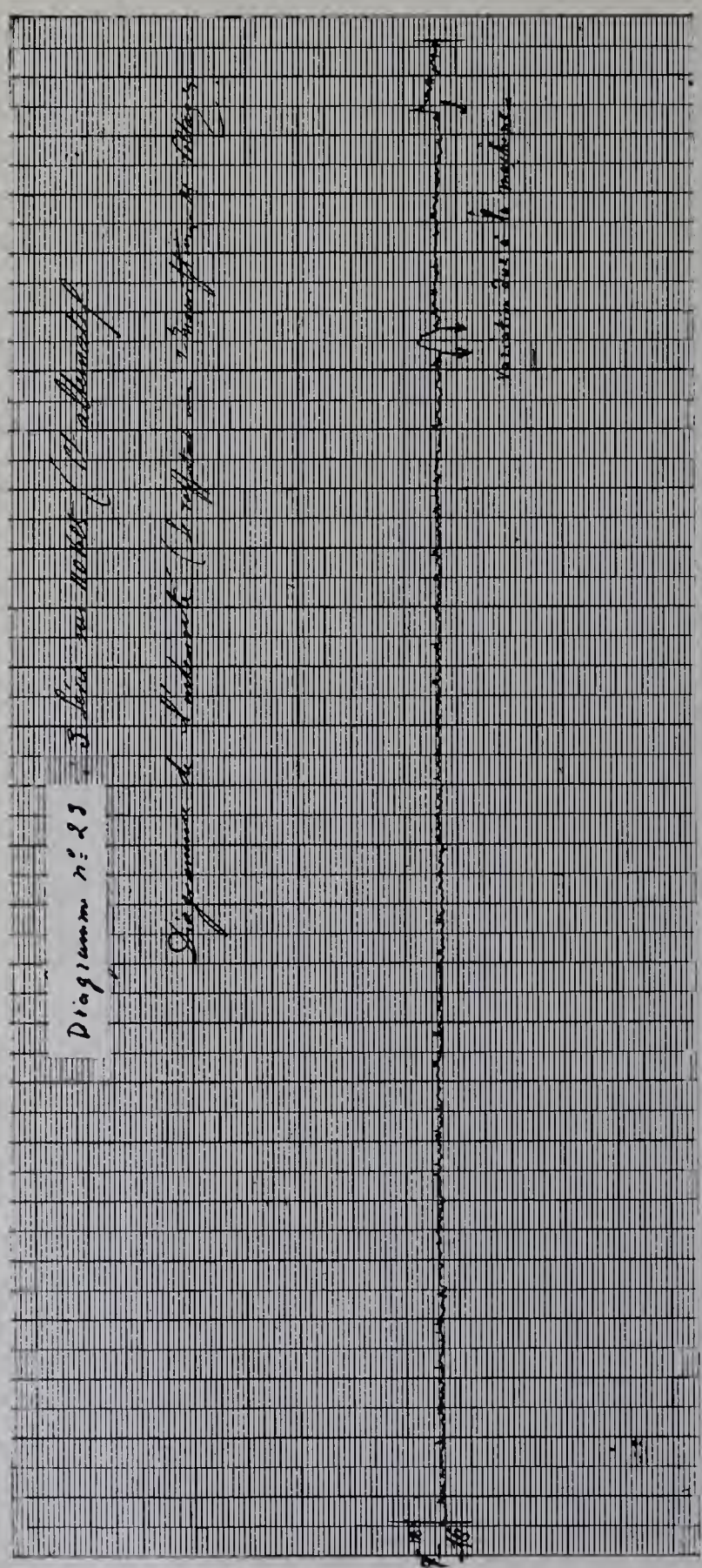
Différence de potentiel aux bornes		36 à 37 volts.
Intensité		13.5 à 14 ampères.
Charbons F	Supérieur à âme	16 millimètres.
	Inférieur à âme	16
Usure horaire	Charbon supérieur	12.6
	Charbon inférieur	14.1



LAMPE À DÉCLENCHEMENT, MOUVEMENT D'HORLOGERIE, DIFFÉRENTIELLE, COURANT ALTERNATIF, FRÉQUENCE 42.

(Diagramme de la différence de potentiel aux bornes.)

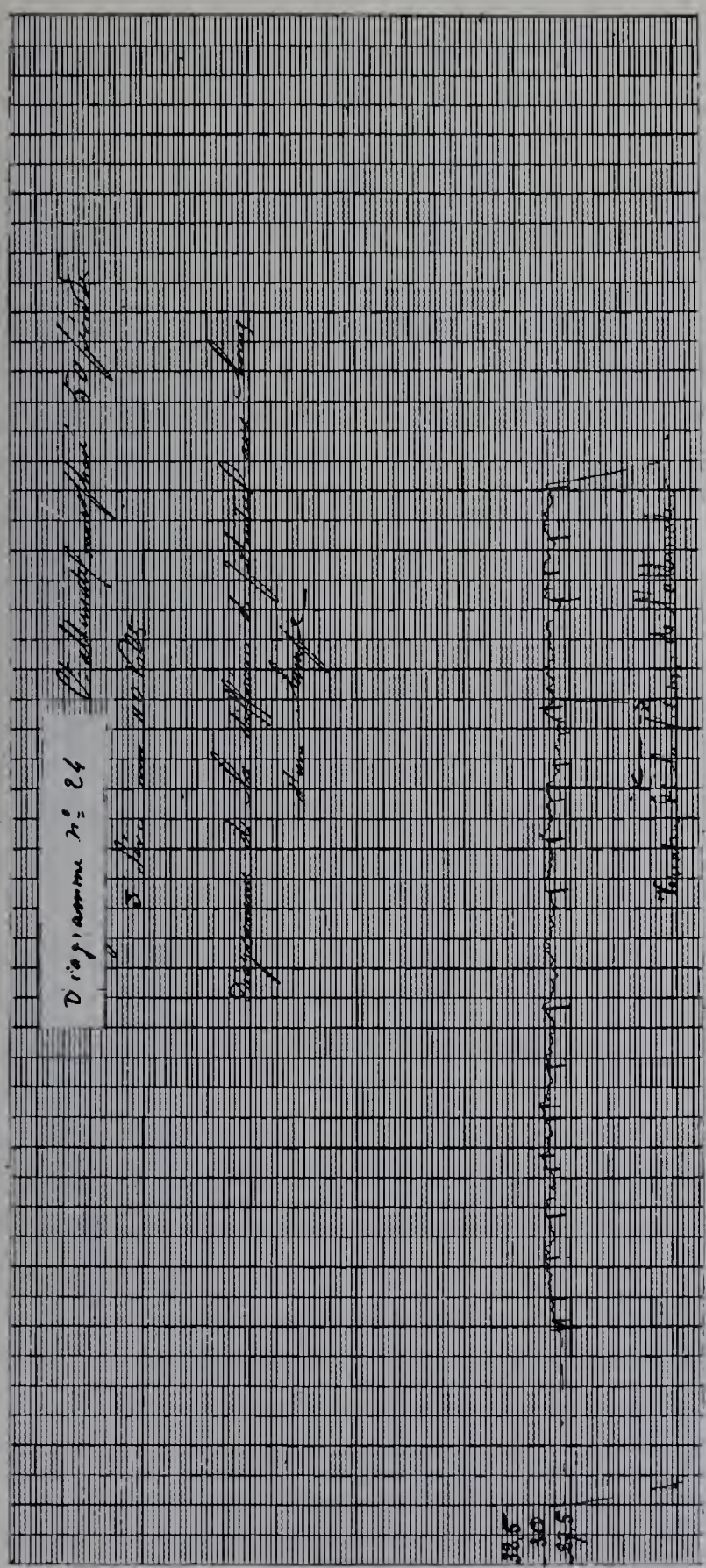
Différence de potentiel aux bornes		36 à 37	volts.
Intensité		13.5 à 14	ampères.
Charbons F	Supérieur à âme	16	millimètres.
	Inférieur à âme	16	
Usure horaire	Charbon supérieur	12.6	
	Charbon inférieur	14.1	



LAMPE À MOTEUR, DIFFÉRENTIELLE, COURANT ALTERNATIF, FRÉQUENCE 50.

(3 en série sur 110 volts avec bobine de réaction.)

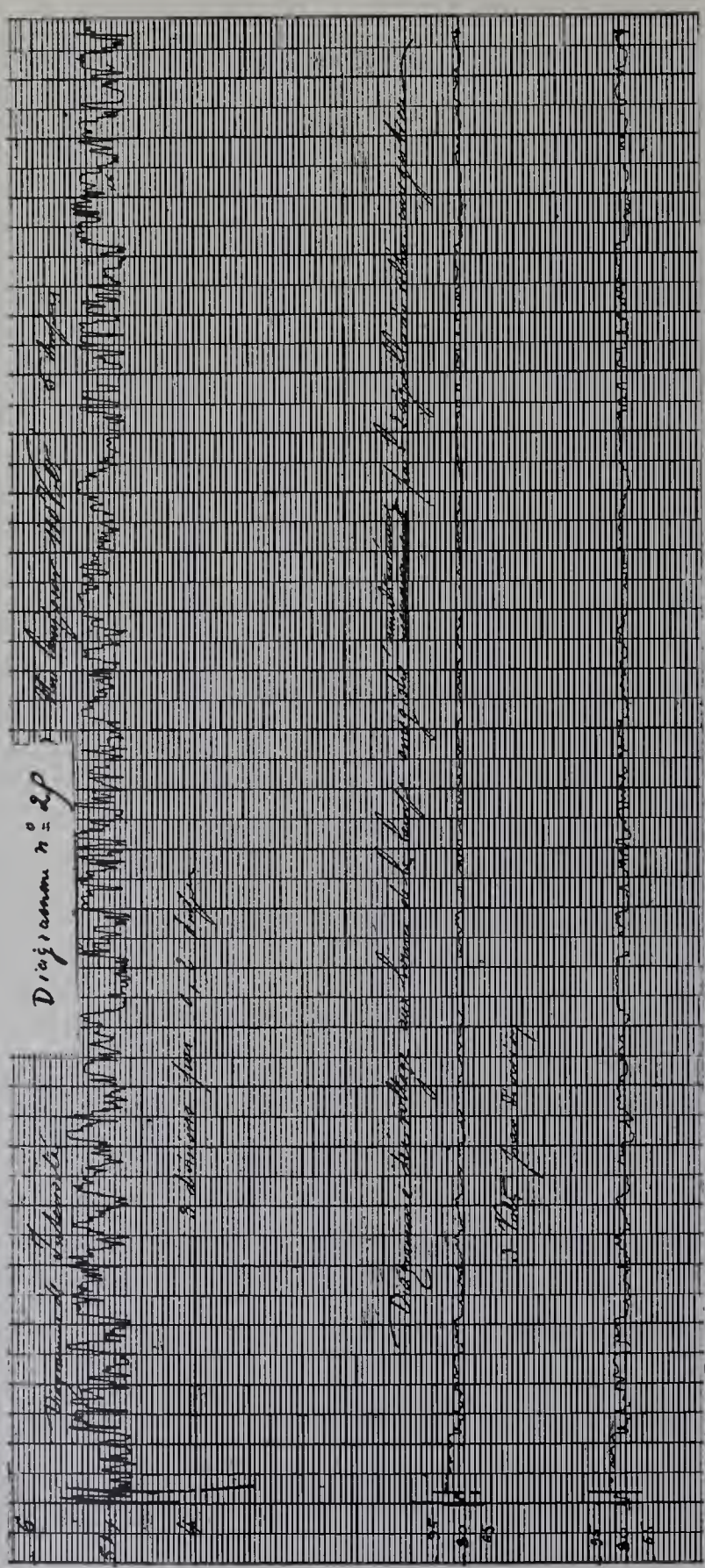
Différence de potentiel aux bornes	des trois lampes	89 volts.
	de la bobine de réaction	74
Puissance perdue dans la bobine de réaction		60 watts.
Intensité du courant		16 à 17 ampères.
Charbons I	Supérieur à âme	14 millimètres.
	Inférieur à âme	14



LAMPE À MOTEUR, DIFFÉRENTIELLE, COURANT ALTERNATIF, FRÉQUENCE 50.

(Diagramme de la différence de potentiel aux bornes d'une lampe.)

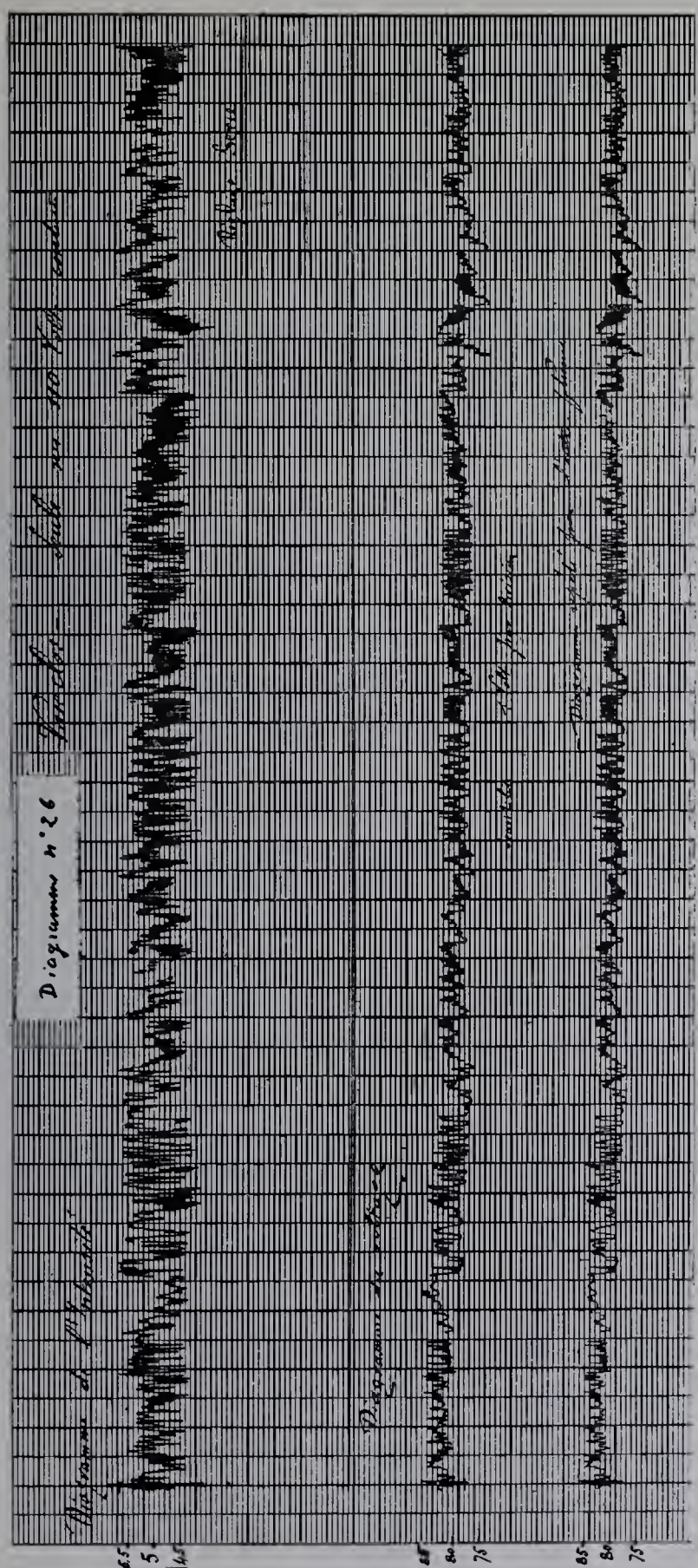
Différence de potentiel aux bornes	des trois lampes	89 volts.
	de la bobine de réaction	74
Puissance perdue dans la bobine de réaction		60 watts.
Intensité du courant		16 à 17 ampères.
Charbons L.	Supérieur à âme	14 millimètres.
	Inférieur à âme	14



LAMPE EN VASE CLOS, COURANT CONTINU.

(1 lampe sur 110 volts.)

Différence de potentiel aux bornes de la lampe		80 volts.
Intensité du courant		5 à 5.5 ampères.
Charbons K	Supérieur homogène	13 millimètres.
	Inférieur homogène	13



LAMPE EN VASE CLOS, COURANT CONTINU.

(1 lampe sur 110 volts.)

Différence de potentiel aux bornes		80 à 85 volts.
Intensité moyenne		5 ampères.
Charbons L	Supérieur homogène	13 millimètres.
	Inférieur homogène	13

CHAPITRE VIII.

ÉTUDE DU FLUX LUMINEUX PRODUIT PAR LES DIFFÉRENTES LAMPES À ARC ESSAYÉES À LEUR RÉGIME DE FONCTIONNEMENT.

Les essais photométriques suivants ont été faits, sur chaque paire de charbon, spécialement pour le régime auquel cette paire avait fonctionné dans les diagrammes précédents; ce régime constitue les conditions pratiques de fonctionnement choisies par chaque constructeur, d'après son expérience personnelle.

Les essais ont été faits avec le lumenmètre de M. Blondel. Les charbons ont été placés successivement dans une lampe réglant à la main, afin d'établir et de maintenir plus facilement les différents régimes. On a fait les expériences suivantes :

1° On a déterminé le flux lumineux correspondant au régime moyen de fonctionnement de la lampe ;

2° Maintenant l'intensité à une valeur constante et égale à celle du régime moyen, on a mesuré les flux lumineux correspondant à des différences de potentiel variant dans les limites de fonctionnement pratique des lampes à arc. L'étude a été faite en général de 30 à 50 volts;

3° Maintenant la différence de potentiel à une valeur constante et égale à celle du régime moyen, on a mesuré les flux lumineux correspondant à des intensités de courant variables.

Sur les tableaux suivants on a reporté seulement les expériences voisines du régime de fonctionnement. On a calculé l'intensité moyenne sphérique correspondant aux différents flux, la puissance dépensée dans l'arc, et afin de pouvoir comparer différents régimes entre eux, la dépense spécifique en watt par bougie moyenne sphérique et le flux spécifique en lumens par watt dépensé. Enfin, comme les lampes fonctionnent en général sur 110 volts, soit par deux en tension avec une résistance de réglage, soit par trois en tension avec ou sans résistance, on a calculé dans chaque cas le flux lumineux total produit par le groupe de lampes employées solidairement et le rendement pratique (flux spécifique) correspondant à cette marche.

Les résultats obtenus avec les différents charbons sont résumés sur les tableaux suivants.

TABLEAU DE CORRESPONDANCE DES UNITÉS EMPLOYÉES.

CONSOMMATION SPÉCIFIQUE.		RENDEMENT LUMINEUX.	
WATTS par bougie.	WATTS par lumens.	BOUGIES par watt.	LUMENS par watt.
—	—	—	—
0.5	0.0398	2	25.1
1	0.0796	1	12.6
2	0.159	0.5	6.3
3	0.229	0.33	4.2
4	0.318	0.25	3.15

(1 bougie sphérique donne un flux total de 4π lumens).

LAMPE ÉQUILIBRÉE DIFFÉRENTIELLE.

(Diagramme n° 0.)

DEUX EN SÉRIE SUR 110 VOLTS.

Charbons A_1	Positif : âme	17	millimètres.
	Négatif : homogène	11	
Régime de la lampe	Intensité	8	ampères.
	Différence de potentiel	43.5	volts.
	Puissance dans une lampe	348	watts.
	Flux lumineux dans une lampe	3770	lumens.
	Intensité moyenne sphérique d'une lampe	300	B. D.
	Rendement lumineux	10.8	lum./watts.

	AMPÈRES.	VOLTS.	FLUX.	LUMENS/WATTS.
Variation du flux	8	40.2	3600	11.2
	8	46.5	4010	10.8
	7	43.5	3100	10.2
	9	43.5	4650	11.9

Rendement pratique.

Puissance totale dépensée.... $110 \times 8 = 880$ watts.

Flux lumineux total..... $3770 \times 2 = 7540$ lumens.

Rendement lumineux..... $\frac{7540}{880} = 8.6$ lum./watts,

ou 1.46 watt par bougie décimale moyenne sphérique.

LAMPE ÉQUILIBRÉE DIFFÉRENTIELLE.

(Diagramme n° 1.)

DEUX EN SÉRIE SUR RÉSEAU À 110 VOLTS.

Charbons F	Positif : âme	17	millimètres.
	Négatif : homogène	12	
Régime moyen	Intensité	10	ampères.
	Différence de potentiel (bornes d'une lampe)	44	volts.
	Puissance dans une lampe	440	watts.
	Flux lumineux d'une lampe	5350	lumens.
	Intensité moyenne sphérique	425	B. D.
	Rendement	12.1	lum./watts.

	AMPÈRES.	VOLTS.	LUMENS.	LUMENS/WATTS.
Variation du flux	10	40	4700	11.7
	10	50	6000	12
	8	44.5	3950	11.1
	12	44.5	7150	13.4

Rendement pratique.
(Ensemble des deux lampes.)

Puissance totale dépensée.. $110 \times 10 = 1100$ watts.

Flux total produit..... $5350 \times 2 = 10700$ lumens.

Rendement..... $\frac{10700}{1100} = 9.7$ lum./watts,

ou 1.3 watt par bougie décimale moyenne sphérique.

IMPRIMERIE NATIONALE.

LAMPE ÉQUILIBRÉE, DÉRIVATION.

(Diagramme n° 2.)

DEUX EN SÉRIE SUR RÉSEAU À 110 VOLTS.

Charbons I.	Positif : âme	14 millimètres.
	Négatif : homogène	10
Régime moyen	Intensité	10 ampères.
	Différence de potentiel	43 volts.
	Puissance de la lampe	430 watts.
	Flux lumineux	5950 lumens.
	Intensité moyenne sphérique	475 B. D.
	Rendement	13.8 lum./watts.

Variation du flux

AMPÈRES.	VOLTS.	LUMENS.	LUMENS/WATTS.
—	—	—	—
10	40	5500	13.7
10	45	6200	13.8
9	42.5	4800	12.5
11	42.5	6600	14.1

Rendement pratique (Ensemble des deux lampes.)

Puissance dépensée	$110 \times 10 =$	1100 watts.
Flux total produit	$5950 \times 2 =$	11900 lumens.
Rendement	$\frac{11900}{1100} =$	10.8 lum./watts,

ou 1.16 watt par bougie décimale moyenne sphérique.

LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(Diagramme n° 4.)

DEUX EN SÉRIE SUR 110 VOLTS.

Charbons A_1	Positif : âme	13 millimètres.
	Négatif : homogène	8
Régime moyen	Intensité	7 ampères.
	Différence de potentiel (bornes d'une lampe).	41 volts.
	Puissance dans une lampe	287 watts.
	Flux lumineux	3250 lumens.
	Intensité moyenne sphérique	260 B. D.
	Rendement	11.3 lum./watts.

Variation du flux

AMPÈRES.	VOLTS.	LUMENS.	LUMENS/WATTS.
—	—	—	—
6	41	2400	9.7
9	41	5250	14.2

Rendement pratique (Ensemble des deux lampes.)

Puissance totale dépensée	$110 \times 7 =$	770 watts.
Flux total produit	$3250 \times 2 =$	6500
Rendement	$\frac{6500}{770} =$	8.5 lum./watts,

ou 1.48 watt par bougie décimale moyenne sphérique.

Usure horaire	Positif : âme	$21^{mm}3$
	Négatif : homogène	26 3

LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(Autre régime.)

DEUX EN SÉRIE SUR 110 VOLTS.

Charbons A_1	Positif : âme	13	millimètres.
	Négatif : homogène	8	
Régime moyen	Intensité	5	ampères.
	Différence de potentiel (bornes d'une lampe)	43	volts.
	Puissance dans une lampe	215	volts.
	Flux lumineux dans une lampe	1850	lumens.
	Intensité moyenne sphérique	147	B. D.
	Rendement	8.6	lum./watts.

	AMPÈRES.	VOLTS.	LUMENS.	LUMENS/WATTS.
Variation du flux	7	43	3,350	11.1
	8	43	4,700	13.7

Rendement pratique (Ensemble des deux lampes.)

Puissance totale dépensée... $110 \times 5 = 550$ watts.

Flux total produit ..... $1850 \times 2 = 3700$ lumens.

Rendement ..... $\frac{3700}{550} = 6.7$ lum./watts

ou 1.87 watt par bougie décimale moyenne sphérique.

LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(Diagramme n° 9.)

DEUX EN SÉRIE SUR 110 VOLTS.

Charbons D	Positif : âme	12	millimètres.
	Négatif : homogène	12	
Régime de la lampe	Intensité	8	ampères.
	Différence de potentiel	43	volts.
	Puissance dans une lampe	344	watts.
	Flux lumineux dans une lampe	3640	lumens.
	Intensité moyenne sphérique d'une lampe	290	B. D.
	Rendement lumineux	10.6	lum./watts.

	AMPÈRES.	VOLTS.	FLUX.	LUMENS/WATTS.
Variation du flux	8	40.3	3240	10
	8	45.4	3870	10.6
	7.1	43.3	2880	9.4
	9	43.3	4420	11.3

Rendement pratique

Puissance totale dépensée... $110 \times 8 = 880$ watts.

Flux total des deux lampes.. $3640 \times 2 = 7280$ lumens.

Rendement lumineux..... $\frac{7280}{880} = 8.3$ lum./watts,

ou 1.51 watt par bougie décimale moyenne sphérique.

LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(Diagramme n° 10.)

DEUX EN SÉRIE SUR 110 VOLTS.

Charbons D	Positif : âme	16	millimètres.
	Négatif : homogène	10	
Régime moyen	Intensité	10	ampères.
	Différence de potentiel	41.5	volts.
	Puissance de la lampe	415	watts.
	Flux lumineux	5100	lumens.
	Intensité moyenne sphérique	40	B. D.
	Rendement	12.3	lum./watts.

	AMPÈRES.	VOLTS.	LUMENS.	LUMENS/WATTS.
Variation du flux	10	40	4820	12
	19	45	5600	12.45
	8	41.5	3400	10.24
	12	41.5	6420	12.9

Rendement pratique (Ensemble des deux lampes.)

Puissance dépensée..... $110 \times 10 = 1100$ watts.

Flux total produit..... $5100 \times 2 = 10200$ lumens.

Rendement..... $\frac{10200}{1100} = 9.3$ lum./watts,

ou 1.35 watt par bougie décimale moyenne sphérique.

LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(Diagramme n° 11.)

DEUX EN SÉRIE À 110 VOLTS.

Charbons G	Positif : âme	8	millimètres.
	Négatif : homogène	5	
Régime de la lampe	Intensité	2.15	ampères.
	Différence de potentiel (bornes d'une lampe).	42.3	volts.
	Puissance dans une lampe	91	watts.
	Flux lumineux	680	lumens.
	Intensité moyenne sphérique	54	B. D.
	Rendement lumineux	7.5	lum./watts.

	AMPÈRES.	VOLTS.	FLUX.	LUMENS/WATTS.
Variation du flux	2.15	45.5	705	7.2
	3	42.3	1075	8.5
	4.1	42.3	1825	10.5

Rendement pratique

Puissance totale dépensée.. $110 \times 2.15 = 236$ watts.

Flux lumineux total..... $680 \times 2 = 1360$ lumens.

Rendement lumineux..... $\frac{1360}{236} = 5.75$ lum./watts,

ou 2.18 watts par bougie décimale moyenne sphérique.

Usure horaire	Positif	22	millimètres.
	Négatif	25	

LAMPE À DÉCLENCHEMENT, MOUVEMENT D'HORLOGERIE, DÉRIVATION.

(Diagramme n° 14.)

DEUX EN SÉRIE SUR RÉSEAU À 110 VOLTS.

Charbons A_2	Positif : âme	16	millimètres.
	Négatif : homogène	10	
Régime moyen	Intensité	8	ampères.
	Différence de potentiel (bornes d'une lampe)	38	volts.
	Puissance dans une lampe	304	watts.
	Flux lumineux	0,500	lumens.
	Intensité moyenne sphérique	278	B. D.
	Rendement	11.5	lum./watts.

	AMPÈRES.	VOLTS.	LUMENS.	LUMENS/WATTS.
Variation du flux	8	36	3150	10.5
	8	40	3620	10.6
	7	38	2620	9.9
	10	38	5000	13.2

Rendement pratique (Ensemble des deux lampes.)	Puissance totale dépensée	$110 \times 8 =$	880	watts.
	Flux total produit	$3500 \times 2 =$	7000	lumens.
	Rendement	$\frac{7000}{880} =$	8	lum./watts,

ou 1.56 watt par bougie décimale moyenne sphérique.

LAMPE ÉQUILIBRÉE, DIFFÉRENTIELLE.

(Diagramme n° 3.)

TROIS EN SÉRIE SUR RÉSEAU À 110 VOLTS.

Charbons H	Positif : âme	14	millimètres.
	Négatif : homogène	10	
Régime moyen	Intensité	9	ampères.
	Différence de potentiel	36	volts.
	Puissance dans une lampe	324	watts.
	Flux lumineux	3550	lumens.
	Intensité moyenne sphérique	282	B. D.
	Rendement	11	lum./watts.

	AMPÈRES.	VOLTS.	LUMENS.	LUMENS/WATTS.
Variation du flux	9	34	3200	10.4
	9	40	4200	11.7
	8	36	3050	10.6
	10	36	4200	11.7

Rendement pratique (Ensemble des trois lampes.)	Puissance dépensée	$110 \times 9 =$	990	watts.
	Flux total produit	$3550 \times 3 =$	10650	lumens.
	Rendement	$\frac{10650}{990} =$	10.8	lum./watts,

ou 1.16 watt par bougie décimale moyenne sphérique.

LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(Diagramme n° 6.)

TROIS EN SÉRIE SUR RÉSEAU À 110 VOLTS.

Charbons	Positif : âme (A_2)	13	millimètres.
	Négatif : homogène (A_1)	8	
Régime moyen	Intensité	7	ampères.
	Différence de potentiel	36	volts.
	Puissance dans la lampe	252	watts.
	Flux lumineux	3050	lumens.
	Intensité moyenne sphérique	243	B. D.
	Rendement	12.1	lum./watts.

	AMPÈRES.	VOLTS.	LUMENS.	LUMENS/WATTS.
Variation du flux	7	34	2800	11.8
	7	39	3200	11.7
	6	36	2310	10.7
	8	36	3650	12.7

Rendement pratique (Ensemble des trois lampes.)	Puissance dépensée	$110 \times 7 =$	770	watt.
	Flux total produit	$3050 \times 3 =$	9150	lumens.
	Rendement	$\frac{9150}{770} =$	11.9	lum./watts,
	ou 1.05 watt par bougie décimale moyenne sphérique.			

Usure des charbons...

LAMPE À FREIN, DIFFÉRENTIELLE.

(Diagramme n° 12.)

TROIS EN SÉRIE SUR RÉSEAU À 110 VOLTS.

Charbons G	Positif : âme	14	millimètres.
	Négatif : homogène	9	
Régime moyen	Intensité	8	ampères.
	Différence de potentiel	36	volts.
	Puissance dans la lampe	288	watts.
	Flux lumineux	3420	lumens.
	Intensité moyenne sphérique	272	B. D.
	Rendement	11.9	lum./watts.

	AMPÈRES.	VOLTS.	LUMENS.	LUMENS/WATTS.
Variation du flux	8	34	3020	11.1
	8	39	3820	12.25
	7	36	2700	10.7
	9	36	4230	13.1

Rendement pratique (Ensemble des trois lampes.)	Puissance dépensée	$110 \times 8 =$	880	watts.
	Flux total produit	$3420 \times 3 =$	10260	lumens.
	Rendement	$\frac{10260}{880} =$	11.7	lum./watts,
	ou 1.07 watt par bougie décimale moyenne sphérique.			

Usure horaire	Positif	18	millimètres.
	Négatif	17	

LAMPE À DÉCLENCHEMENT, MOUVEMENT D'HORLOGERIE, DÉRIVATION.

(Diagramme n° 19.)

TROIS EN SÉRIE SUR RÉSEAU À 110 VOLTS.

Charbons	Positif : âme (A_2)	13	millimètres.
	Négatif : homogène (D)	8	
Régime moyen	Intensité	7.5	ampères.
	Différence de potentiel	36	volts.
	Puissance dans une lampe	270	watts.
	Flux lumineux	3150	lumens.
	Intensité moyenne sphérique	250	B. D.
	Rendement	11.7	lum./watts.

	AMPÈRES.	VOLTS.	LUMENS.	LUMENS/WATTS.
Variation du flux	7.5	34	2825	//
	7.5	39	3350	//

Rendement pratique (Ensemble des trois lampes.)

Puissance dépensée..... $110 \times 7.5 = 825$ watts.

Flux total produit..... $3150 \times 3 = 9450$ lumens.

Rendement..... $\frac{9450}{825} = 11.5$ lum./watts,

ou 1.09 watt par bougie décimale moyenne sphérique.

RÉSUMÉ DES EXPÉRIENCES.

DÉSIGNATION DES LAMPES [1].	DÉSIGNATION DES CHARBONS.	DIAMÈTRE DES CHARBONS.	FLUX TOTAL (lumens).	PUISSANCE (watts).	FLUX SPÉCIFIQUE (lumens par watts).	DÉPENSES SPÉCIFIQUES (watts par bougie).
LAMPES PAR DEUX EN SÉRIE.						
14	A_2	$\frac{A\ 16}{H\ 10}$	7000	880	8	1.56
4 [2]	A_1	$\frac{A\ 13}{H\ 8}$	3700	550	6.7	1.87
1	F	$\frac{A\ 17}{H\ 12}$	10700	1100	9.7	1.3
2	I	$\frac{A\ 14}{H\ 10}$	11900	1100	10.8	1.16
10	D	$\frac{A\ 16}{H\ 10}$	10200	1100	9.3	1.35
0	A_1	$\frac{A\ 17}{H\ 11}$	7540	880	8.6	1.46
11	G	$\frac{A\ 8}{H\ 5}$	1360	236	5.75	2.18
9	D	$\frac{A\ 12}{H\ 12}$	7280	880	8.3	1.51
4	A_1	$\frac{A\ 13}{H\ 8}$	6500	770	8.5	1.48

[1] Les numéros contenus dans cette colonne se rapportent aux diagrammes donnés dans le chapitre précédent.
[2] Même lampe qu'au diagramme n° 4 ; autre régime.

RÉSUMÉ DES EXPÉRIENCES. (Suite.)

DÉSIGNATION DES LAMPES [1].	DÉSIGNATION DES CHARBONS.	DIAMÈTRE DES CHARBONS.	FLUX TOTAL (lumens).	PUISSANCE (watts).	FLUX SPÉCIFIQUE (lumens par watts).	DÉPENSES SPÉCIFIQUES (watts par bougie)
LAMPES PAR TROIS EN SÉRIE.						
12.....	H	A 14 / H 9	10260	880	11.7	1.07
3.....	Supérieur : A_2 Inférieur : D	A 14 / H 10	10650	990	10.8	1.16
19.....	A_2	A 13 / H 8	9450	825	11.5	1.09
6.....	G	A 13 / H 8	9150	770	11.9	1.05

[1] Les numéros contenus dans cette colonne se rapportent aux diagrammes donnés dans le chapitre précédent.

CONCLUSION.

Il ressort avec évidence des tableaux précédents que, dans l'état actuel de la fabrication des charbons, le montage des lampes par trois en tension est plus économique que le montage par deux.

Dans l'un des cas, le flux spécifique varie de 6.7 à 10.8 lumens par watts (deux lampes en série).

Dans l'autre, il varie de 10.8 à 11.9 lumens par watts (trois lampes en série).

Cette amélioration du rendement tient à deux causes :

1° Par suite de l'emploi des charbons à bas voltage, le rendement de l'arc à 30 ou 35 volts n'est pas de beaucoup inférieur au rendement à 40 ou 45 volts. Le gain de lumière apporté par la troisième lampe compense et au delà les pertes peu importantes acceptées sur les deux autres.

2° Dans le groupement des lampes par deux en série, une quantité notable d'énergie est absorbée en pure perte; cette résistance est notablement réduite quand on emploie les trois lampes; il en résulte une économie importante.

CHAPITRE IX.

ÉTUDE PHOTOMÉTRIQUE DE DEUX LAMPES EN VASE CLOS.

RÉPARTITION LUMINEUSE DE LA LAMPE EN VASE CLOS N° 1.

(Diagramme n° 25.)

La répartition lumineuse a été étudiée au moyen de l'appareil à miroirs.

Dans une direction donnée, l'intensité lumineuse varie dans des limites assez grandes d'un instant à l'autre par suite de la rotation de l'arc autour des charbons. C'est dans la direction horizontale que cette variation est la plus importante. Les mesures ci-dessous ont été faites dans les conditions suivantes :

On faisait au photomètre 5 lectures se succédant le plus rapidement possible, on attendait quelques instants (une demi-minute environ) et on recommençait une nouvelle série. On a obtenu de cette manière les intensités suivantes et dans cet ordre :

Bougies décimales.....	129	187	226
	140	147	248
	189	143	151
	240	210	152

Moyenne générale : 184 bougies décimales.

On voit donc que les moyennes de 5 lectures rapprochées peuvent varier du simple au double (de 129 à 270). Si l'on avait pris les lectures photométriques extrêmes au lieu de prendre des moyennes, l'écart aurait été encore plus important.

Il est donc nécessaire, si l'on veut avoir pour l'intensité lumineuse des valeurs moyennes concordantes, de prendre un grand nombre de mesures dans chaque direction et de répartir les mesures sur un temps assez long (3 à 5 minutes au moins).

L'appareil à deux miroirs du Laboratoire central d'électricité diminue l'importance de ces variations, puisque, par son emploi, on reçoit simultanément sur le photomètre l'intensité lumineuse émise dans deux directions opposées, mais dans deux plans verticaux à 180 degrés l'un de l'autre. Les variations ne sont pas annulées, mais considérablement diminuées cependant.

Voici 4 mesures de l'intensité horizontale faites avec les deux miroirs dans les mêmes conditions d'exécution que ci-dessus :

186; 173; 167.3; 204.5.

Écart entre les deux valeurs extrêmes 20 p. 100 $\left(\frac{204.0}{167} = 1.20\right)$.

Les mesures données ci-après ont été faites au moyen de l'appareil à deux miroirs; elles ont été obtenues au moyen d'une série de 10 lectures au moins réparties à peu près uniformément dans un temps de 5 minutes environ.

Régime et conditions de fonctionnement de la lampe. — Les mesures ont été faites sur une lampe du modèle de 5 ampères.

Charbons employés, K; diamètre, 13 millimètres.

Les globes, intérieur et extérieur, étaient en verre opalin spécial.

La lampe était alimentée par du courant continu fourni par une batterie d'accumulateurs à la tension de 110 volts environ.

Différence de potentiel moyenne à la lampe, sans y comprendre la résistance en série (variations de 81.2 à 82.8), 82 volts;

Intensité moyenne du courant (variations de 5 à 5.25), 5.1 ampères;

Puissance moyenne dans la lampe, 418 watts.

On trouvera dans un tableau ci-après les intensités lumineuses dans les différentes directions. La courbe polaire tracée comme d'ordinaire a, comme on peut le constater, une forme arrondie. Le maximum a lieu pour un angle compris entre 30 et 40 degrés en dessous de l'horizon.

On a calculé d'après le procédé ordinaire l'intensité moyenne sphérique, l'intensité moyenne hémisphérique inférieure et l'on en a déduit les consommations spécifiques.

Ces résultats se rapportent à la puissance dépensée dans la lampe, mais en fait on doit tenir compte de l'énergie absorbée dans la résistance et prendre comme puissance dépensée celle qui correspond à l'intensité de la lampe à la tension du réseau, soit 110 volts.

Dans ces conditions, la dépense spécifique est augmentée notablement.

Il faut remarquer également que les intensités lumineuses se rapportent à un globe intérieur propre; quand la lampe a fonctionné un certain temps, un dépôt se forme sur le verre et augmente son opacité.

RÉSULTATS RÉSUMÉS.

(Lampe de 5 ampères avec ses deux globes.)

Charbons employés (Marque K)		13	millimètres.
Tension du réseau		110	volts.
Régime de la lampe	Différence de potentiel	82	volts.
	Intensité du courant	5.1	ampères.
	Puissance dans la lampe	418	watts.
	Puissance totale dépensée	561	

Intensité lumineuse...	Intensité horizontale	184 bougies.
	Intensité maxima (120 degrés)	338
	Intensité moyenne sphérique	190
	Intensité moyenne hémisphérique inférieure	257
	Flux lumineux total	2390 lumens.
Dépense spécifique...	Dans la lampe. $\frac{\text{Watts}}{\text{Intensité sphérique}}$	2.2
	Dans la lampe. $\frac{\text{Watts}}{\text{Intensité hémisphérique}}$	1.63
	En pratique. $\frac{\text{Watts}}{\text{Intensité sphérique}}$	2.95
	En pratique. $\frac{\text{Watts}}{\text{Intensité hémisphérique}}$	2.18

RÉPARTITION LUMINEUSE.

(Lampe avec deux globes opalins.)

Charbons K	13 millimètres.
Différence de potentiel moyenne	82 volts.
Intensité du courant	5.1 ampères.

	ANGLES AVEC LA VERTICALE. — degrés.	NOMBRE DE BOUGIES. —
Intensité lumineuse...	30	70
	40	93.5
	50	114
	60	133
	70	137
	80	165
	90 (horizon)	184
	100	234
	110	293
	120	338
	130	335
	140	258
	160	157

Intensité moyenne sphérique	190 bougies.
Intensité moyenne hémisphérique inférieure	257

RÉPARTITION LUMINEUSE DE LA LAMPE EN VASE CLOS N° 2.

(Diagramme n° 26.)

Dans cette lampe, l'arc, au lieu de tourner lentement par suite de l'usure des charbons comme dans les lampes en vase clos ordinaire, prend un mouvement de rotation assez rapide sur lui-même (plusieurs tours par seconde); en outre, le cratère se déplace

d'une manière irrégulière et reste peu de temps en chaque position de fonctionnement.

Il en résulte que l'intensité lumineuse dans une direction donnée varie plus rapidement qu'avec la lampe en vase clos ordinaire et que les variations sont, par ce fait, plus sensibles à l'œil.

RÉPARTITION LUMINEUSE, LAMPES À ARC EN VASE CLOS

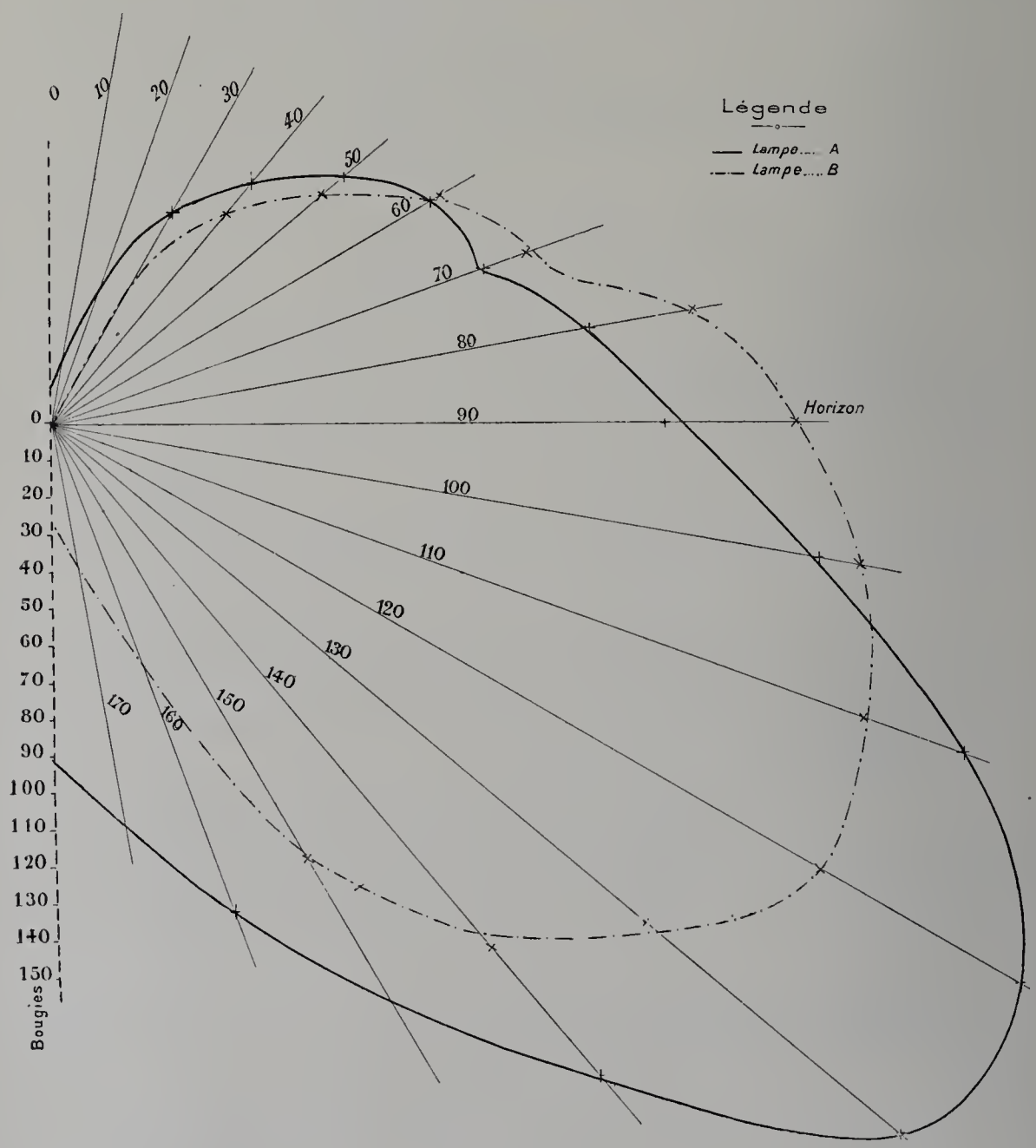


Fig. 54.

Les mesures d'intensité lumineuse ont été faites, comme pour la lampe précédente, au moyen de l'appareil à miroirs. Chaque série comprend 10 lectures photométriques.

Régime et conditions de fonctionnement de la lampe. — La lampe était du modèle de 5 ampères.

Charbons employés, L; diamètre, 13 millimètres.

La lampe était munie seulement d'une ampoule de verre opalin de forme cylindrique.

La lampe était alimentée par du courant continu fourni par une batterie d'accumulateurs à la tension de 110 volts environ.

Différence de potentiel moyenne à lampe sans y comprendre la résistance en série (variations de 79.6 à 83.4), 81.6 volts;

Intensité moyenne du courant (variations de 4.85 à 5.10), 5 ampères;

Puissance moyenne dépensée dans la lampe, 408 watts.

On trouvera dans un tableau les intensités lumineuses dans les différentes directions.

La courbe a une forme très ronde.

Le maximum d'intensité lumineuse a lieu pour une direction faisant angle compris entre 20 et 30 degrés avec l'horizon.

On a calculé par le procédé ordinaire l'intensité moyenne sphérique et l'intensité moyenne hémisphérique inférieure, ainsi que les consommations spécifiques se rapportant à la puissance dépensée dans la lampe seule ou à la puissance totale.

Il faut remarquer, comme pour la lampe précédente, que les intensités lumineuses se rapportent à une ampoule propre sans dépôt sur le verre.

RÉSULTATS RÉSUMÉS.

(Lampe de 5 ampères avec une ampoule seule.)

Charbons L, diamètre		13	millimètres.
Tension du réseau		110	volts.
Régime de la lampe	Différence de potentiel	81.6	volts.
	Intensité du courant	5	ampères.
	Puissance dans une lampe	408	watts.
	Puissance totale dépensée	550	
Intensité lumineuse	Intensité horizontale	225	bougies.
	Intensité maxima	268	
	Intensité moyenne sphérique	172	
	Intensité moyenne hémisphérique inférieure	218	
	Flux lumineux total	2160	lumens.
Dépense spécifique	Dans la lampe seule. $\frac{\text{Watts}}{\text{Intensité sphérique}}$	2.37	
	Dans la lampe seule. $\frac{\text{Watts}}{\text{Intensité hémisphérique}}$	1.88	
	En pratique. $\frac{\text{Watts}}{\text{Intensité sphérique}}$	3.2	
	En pratique. $\frac{\text{Watts}}{\text{Intensité hémisphérique}}$	2.54	

RÉPARTITION LUMINEUSE.

(Lampe avec une ampoule verre opale.)

Charbons L.	13 millimètres.
Différence de potentiel moyenne	81.6 volts.
Intensité moyenne	5 ampères.

	ANGLES AVEC LA VERTICALE. — degrés.	NOMBRE DE BOUGIES. —
Intensité lumineuse	40	82
	50	106
	60	134
	70	153
	80	198
	90 (horizon)	225
	100	248
	110	261
	120	268
	130	233
	140	205
	150	152
	180	30

Intensité moyenne sphérique	172 bougies.
Intensité moyenne hémisphérique inférieure	218

La figure 54 (page 460) donne les courbes de répartition de l'intensité lumineuse pour les deux lampes en vase clos étudiées dans ce chapitre.

CHAPITRE X.

LA LUMIÈRE BREMER.

LAMPE BREMER.

La lampe Bremer est une lampe à arc à charbons inclinés, semblable, comme disposition, à l'ancienne lampe Soleil, ou à la lampe Rapieff.

Les charbons coulissent dans des guides sous l'action de poids placés à leur partie supérieure.

Le mouvement de défilage est arrêté par le frottement d'une armature venant s'appuyer sur les deux charbons sous l'action de ressorts antagonistes.

Le mécanisme de la lampe comprend (fig. 55 et 56) :

1° Un réglage des charbons;

2° Un réglage électromagnétique sur la forme de l'arc;

3° Une palette d'allumage formée par une simple tête de vis V servant en même temps à maintenir les extrémités des charbons dans un même plan horizontal.

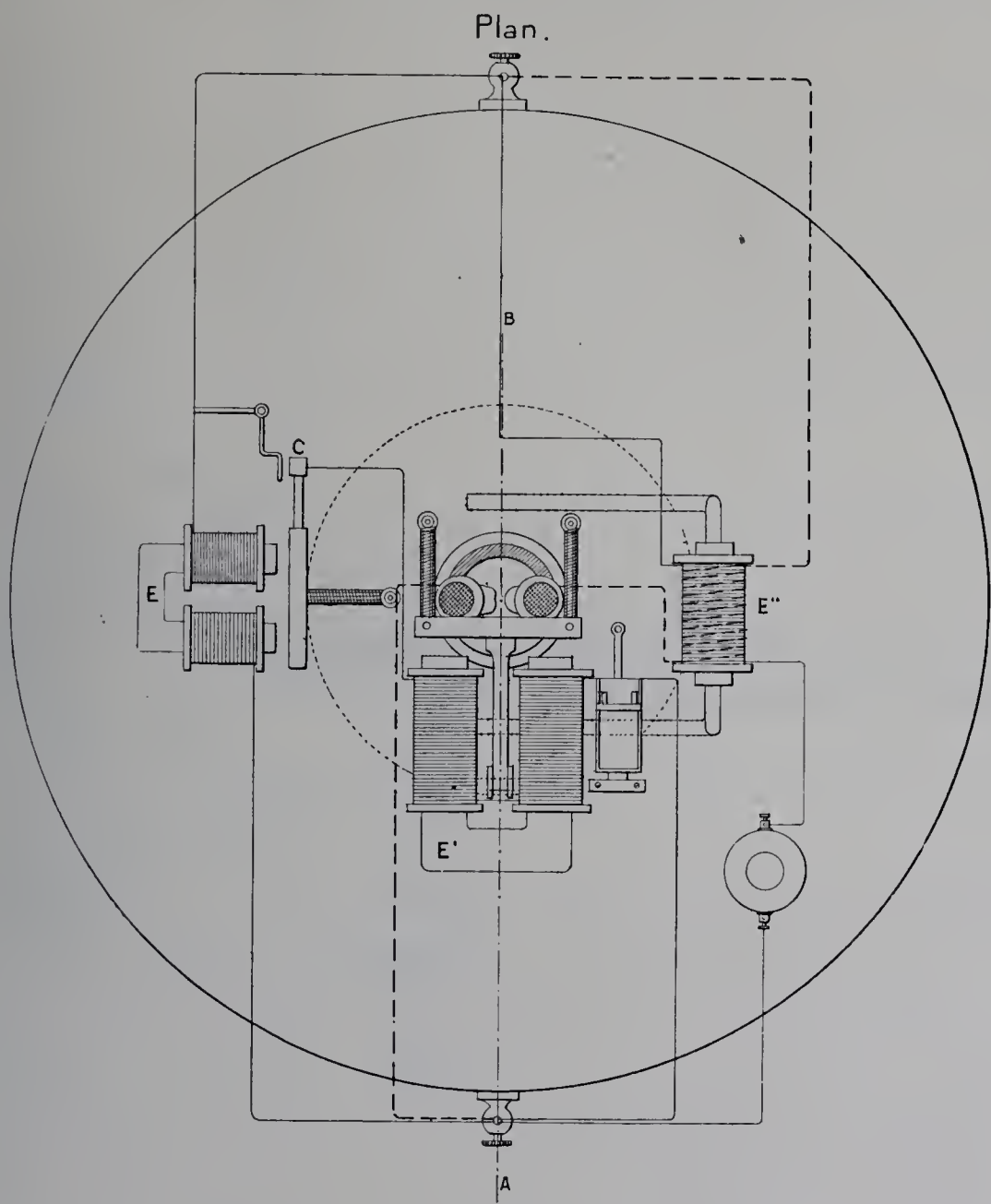


Fig. 55.

1° Le réglage des charbons comprend deux électros E et E', en dérivation; l'un, E, ne sert que de relais; l'autre, E', excité par le premier, actionne en même temps l'armature de desserrage, la palette et un amortisseur.

2° Le réglage électromagnétique sur la forme de l'arc obtenu au moyen de l'électro E'' est différentiel, le champ série étant prépondérant.

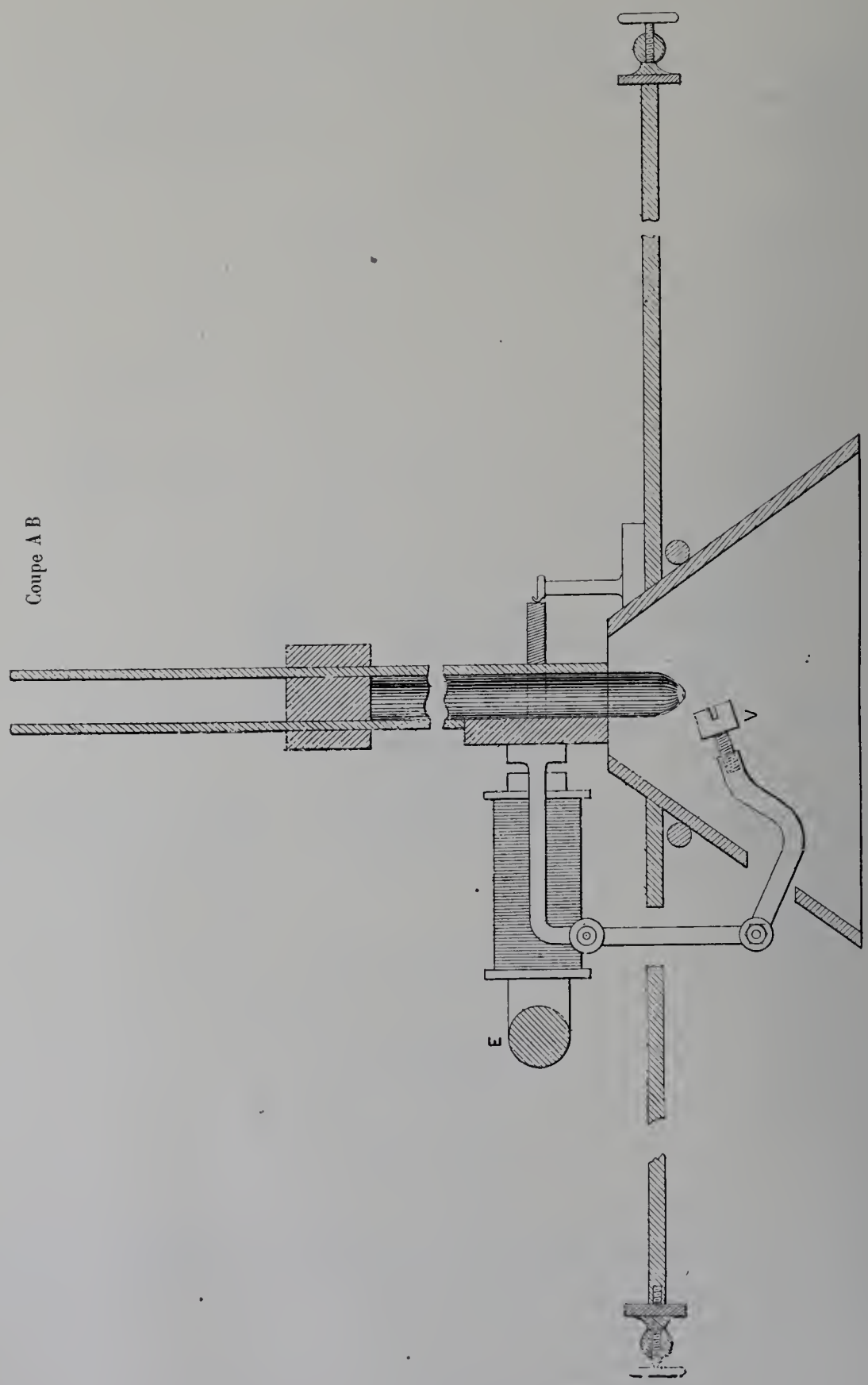


Fig. 56.

La bobine est formée par un solénoïde à double enroulement dont le noyau de fer doux s'épanouit en deux branches parallèles formant un champ perpendiculaire à l'arc.

Cône. — Le tronc de cône entourant l'arc a pour but de rendre celui-ci plus stable en maintenant une température élevée et évitant les courants d'air.

L'intérieur se recouvre, après quelque temps de fonctionnement, d'une couche pulvérulente, blanche, qui paraît être de la chaux et de la magnésie.

Ce dépôt rend le cône essentiellement diffuseur.

Allumage. — La différence de potentiel étant maximum aux bornes de la lampe, l'électro E attire son armature et par le contact *c* ferme le circuit de E'.

L'électro E' attire alors son armature; par un jeu de leviers, la palette V est soulevée, son extrémité prenant dans l'axe des charbons une position définie; les charbons, en même temps rendus libres, glissent jusqu'à l'extrémité de la palette qui les met en court circuit. La différence de potentiel baisse instantanément aux bornes de l'arc; le relais ne fonctionne plus et la palette est vivement retirée, provoquant l'allumage de l'arc; en même temps, les charbons sont fixés dans leur position actuelle par l'action du frein.

Réglage. — A l'allumage, les charbons étant très rapprochés, si l'arc jaillissait tout droit d'une pointe à l'autre, l'intensité tendrait à acquérir une grande valeur, et cela durerait pendant le temps nécessaire à l'usure des charbons, donnant l'écart correspondant au régime de la lampe.

Pour obvier à cet inconvénient sans procédé spécial, il faudrait que les réglages s'effectuassent à des intervalles très courts, ce qui serait inadmissible dans la disposition actuelle de la lampe.

M. Bremer a tourné la difficulté en employant un réglage secondaire électromagnétique agissant sur la forme de l'arc.

La bobine différentielle, formant un champ magnétique perpendiculaire à l'arc, tend à allonger cet arc; et le réglage de la bobine est fait de façon à obtenir le régime qui convient à la lampe. Lorsque les charbons s'usent, la différence de potentiel tend à augmenter aux bornes de la lampe, tandis que l'intensité diminue; le champ magnétique produit diminue pour ces deux causes, et la courbure devient de moins en moins accentuée, tendant à maintenir à peu près constante la longueur de l'arc, et par conséquent le régime de la lampe; autrement dit, avec l'usure des charbons, l'arc prend successivement les positions M, M', M'', les rayons de courbure augmentant, la longueur restant sensiblement constante (fig. 57).

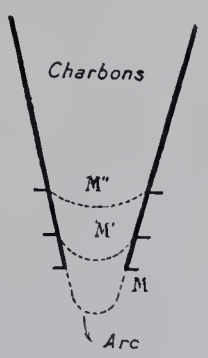


Fig. 57.

Quand le réglage électromagnétique n'est plus suffisant, la différence de potentiel augmente aux bornes de l'arc, l'électro E' est excité et les charbons rendus libres reprennent la position qu'ils occupaient lors de l'allumage.

L'action de la palette s'effectue dans un temps très court, grâce au relais qui permet de faire agir brusquement une force importante; on peut s'expliquer ainsi que la tête de vis, formant l'extrémité de la palette, ne soit pas fondue lors du réglage.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Il faut cependant la remplacer de temps en temps. D'ailleurs, le déclenchement ne se produit qu'à des intervalles de plusieurs minutes.

Charbons employés par M. Bremer. — Le charbon positif employé par M. Bremer a une composition spéciale très complexe.

Voici les résultats de l'analyse [1] :

Proportion des cendres p. 100.	Dans l'âme	16.6
	Dans l'enveloppe	37.2

ANALYSE QUALITATIVE DES CENDRES.

ÂME.	ENVELOPPE.
Silice.	Plomb? (traces).
Aluminium.	Silice.
Fer.	Fer.
Calcium.	Aluminium.
Magnésium.	Zinc.
Sodium.	Baryum.
	Strontium.
	Calcium.
	Potassium.
	Sodium.
	Acide phosphorique (traces).
	Fluorures ou fluosilicates.
	Acide sulfurique (traces).

L'arc vaporisant les sels contenus dans les charbons se trouve coloré par eux et est entouré par une sorte de flamme très riche en rayons jaunes et rouges. La lumière qui en résulte a une teinte légèrement jaune et dorée, d'un ton chaud très agréable à l'œil.

L'air chaud entre les deux charbons chargé de vapeurs métalliques est relativement conducteur, aussi l'arc est très long et l'écart est beaucoup plus grand qu'avec les charbons ordinaires.

Comparaison des charbons Bremer avec les charbons ordinaires dans une lampe à arc. — Dans une lampe à arc, les deux charbons étant placés verticalement dans le prolongement l'un de l'autre (positif Bremer à âme, 7; négatif Siemens à âme, 6), il est difficile d'obtenir un arc ayant plus de 32 volts aux bornes avec un courant de 9 à 10 ampères. Avec des charbons ordinaires du même diamètre, au contraire, le même régime ne peut être maintenu, le transport du carbone sur le charbon négatif amenant aussitôt un champignon et le collage de l'arc.

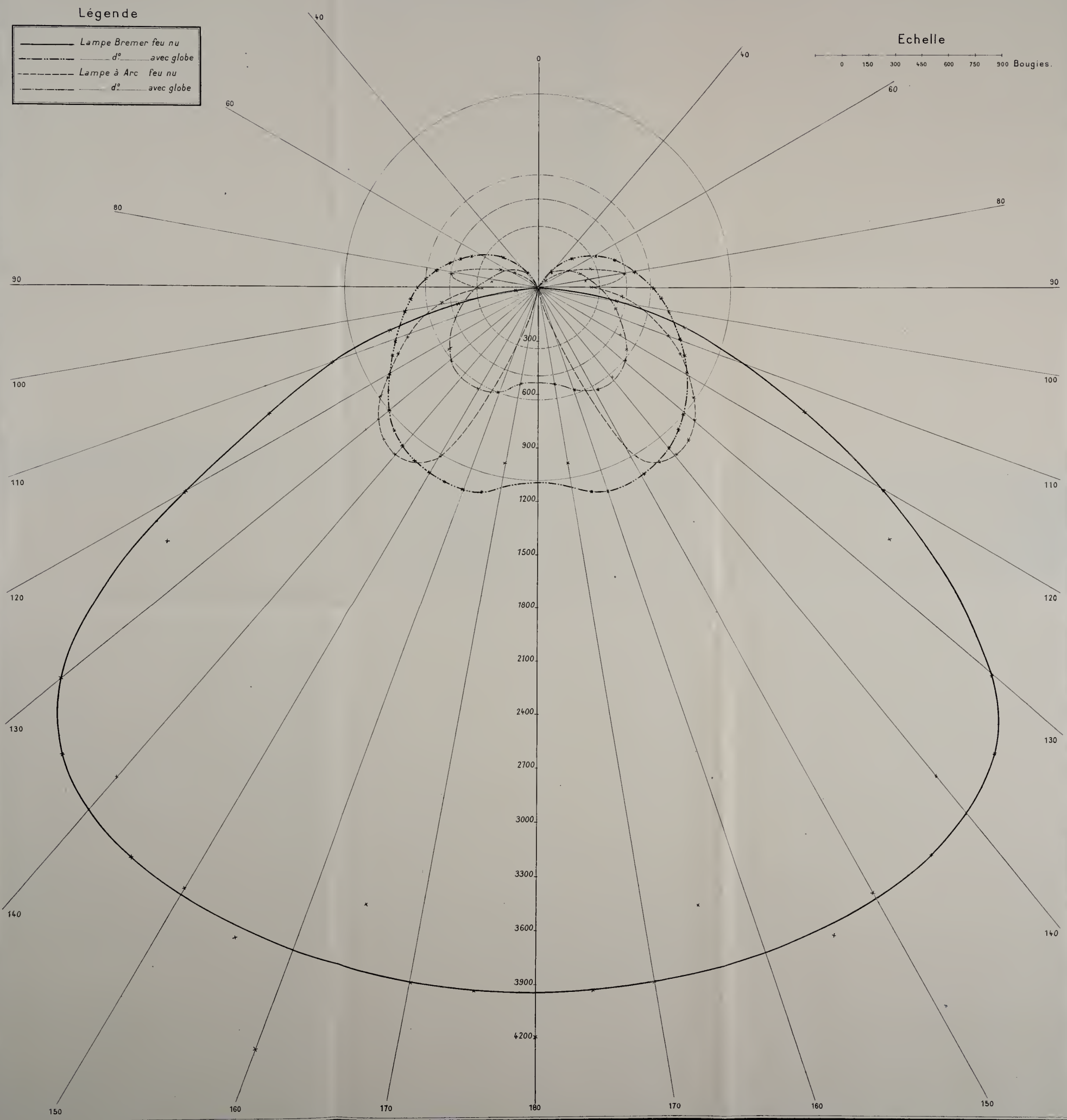
Aussi une comparaison directe des flux lumineux émis par les deux genres de charbons, montés de la manière ordinaire, n'a pu être faite au lumenmètre.

Les différents résultats obtenus sont les suivants, mais je le répète, ne sont pas comparables directement.

[1] Cette analyse, comme les précédentes, est due à M. Étaix, docteur ès sciences, chef des travaux de chimie à la Faculté des sciences de Paris.

RÉPARTITION LUMINEUSE

Lampe Bremer - Lampe à arc



ESSAI AU LUMENMÈTRE.

(Constante adoptée : 35 lumens par lux au photomètre.)

	CHARBONS			
	BREMER.		D.	A_1
Charbon.. négatif	A âme... 10	Bremer A. 7	A âme. 12	A âme. 7
Charbon.. positif	Siemens H 7	Siemens.. 6	Hom.. 8	Hom.. 6
Régime de l'arc :				
Différence de potentiel	30	32	30	43
Intensité	10.75	9	10.1	8.8
Puissance	322	288	303	378
Flux lumineux total	6400	7900	3440	6600
Intensité moyenne sphérique	510	628	274	525
Dépense spécifique (watt par bougie sphérique)	0.63	0.46	1.105	0.72
Rendement (lumens par watt)	19.9	27.4	11.3	17.5

Voici, d'ailleurs, les chiffres obtenus pour le flux lumineux, la puissance dépensée et la dépense spécifique en faisant varier la différence de potentiel aux bornes des charbons Bremer, l'intensité du courant restant constante. Le flux lumineux croît très rapidement avec la différence de potentiel aux bornes.

Charbon positif Bremer, à âme, diamètre ..... 7 millimètres.
Charbon négatif 6

Différence de potentiel	24	26	28	32
Intensité du courant	9	9	9	9
Puissance	216	234	254	288
Flux lumineux total	3650	4800	6700	7900
Intensité moyenne sphérique	290	382	533	628
Dépense spécifique (watt par bougie sphérique)	0.745	0.612	0.477	0.458
Rendement (lumens par watt)	16.9	20.5	26.4	27.4

Résistivité. — Les charbons Bremer ont une résistivité notablement supérieure aux charbons ordinaires, ainsi qu'il résulte des chiffres suivants :

		DIAMÈTRE. — millimètres.	RÉSISTIVITÉ [1]. — microhms-centimètres.
Charbons Bremer	à âme	6.67	12200
	à âme	6.91	12460
Charbons Siemens A.	à âme	7.07	9440
	à âme	6.03	9500
	à âme	6.04	7360
	homogène	6	8300

Ils ont d'ailleurs une apparence moins homogène et un grain beaucoup moins fin et moins serré que les charbons à arc auxquels ils ont été comparés.

[1] Les résistivités ont été calculées au moyen de la résistance, de la longueur et du diamètre, comme si les charbons eussent été homogènes.

Usure. — Les usures ci-dessous correspondent à une heure de fonctionnement de la lampe Bremer et d'une lampe à arc ordinaire fonctionnant avec des charbons Siemens au même régime.

Différence de potentiel	45.6		43.3	
Intensité du courant	8.73		8.9	
	POSITIF Bremer à âme.	NÉGATIF Siemens.	POSITIF Siemens à âme.	NÉGATIF Siemens homogène.
Diamètre	7	6	7	6
Usure par heure	41mm	49mm	75.5	38.5

Cette usure, même pour le charbon Bremer, est de beaucoup supérieure à celle qui est admise ordinairement.

Essai photométrique de la lampe Bremer. — La répartition lumineuse de la lampe a été étudiée dans le plan vertical perpendiculaire au plan des charbons. L'expérience a été faite au moyen de l'appareil à miroirs du Laboratoire central d'électricité.

Les miroirs conservant leur inclinaison de 45 degrés environ peuvent se déplacer le long d'une circonférence dans un plan vertical perpendiculaire à l'axe du photomètre et les rayons lumineux émis dans les diverses directions, réfléchis par le miroir, viennent éclairer le photomètre. L'éclairement produit est mesuré au moyen d'une lampe à incandescence, d'intensité connue, dont on peut faire varier la distance au photomètre, de manière à obtenir le même éclairement.

Les rayons lumineux tombant sur le miroir avec le même angle d'incidence, une seule expérience permet de déterminer le coefficient d'absorption du miroir.

La lampe était alimentée par du courant continu fourni par une batterie d'accumulateurs. L'intensité du courant et la différence de potentiel aux bornes de la lampe ont été mesurées avec un ampèremètre Chauvin et Arnoux et un voltmètre de précision Carpentier.

Les résultats ont été les suivants :

Charbons employés	positif : Bremer à âme	7 millimètres.
	négatif : Siemens	6

		RÉGIME DE LA LAMPE	
		SANS GLOBE.	AVEC GLOBE.
Intensité du courant	moyenne	9.45	8.73
	variation	8.8–9.9	8.5–9.2
Différence de potentiel	moyenne	45.2	45.9
	variation	47–43	48.5–43.5
Puissance dépensée		427	400
Intensité moyenne sphérique		1110	638
Intensité hémisphérique inférieure		2220	950
Flux lumineux total		13950	8020
Dépense spécifique en watt par bougie moyenne sphérique		0.385	0.628
Watt par bougie hémisphérique inférieure		0.192	0.421
Lumens par watt		32.7	20

Ces résultats ont été donnés par le calcul de l'intensité moyenne sphérique. Les différentes intensités lumineuses permettant de tracer les courbes de répartition (fig. 58) sont portées dans un tableau ci-après.

On remarquera que la forme de la courbe n'est plus du tout celle de l'arc à courant continu : cela tient à la position des charbons, à la longue flamme produite par le soufflage et à l'action du cône servant de réflecteur.

L'intensité lumineuse, presque nulle dans la direction horizontale, croît rapidement et augmente jusqu'à 60 ou 70 degrés en-dessous de l'horizon et se maintient ensuite à peu près constante jusqu'à la verticale.

Avec le globe dépoli, la répartition est modifiée, l'intensité lumineuse horizontale est beaucoup augmentée, une partie très appréciable de la lumière est envoyée au-dessus de l'horizon. L'intensité lumineuse suivant la verticale est diminuée considérablement. Le calcul du flux lumineux montre que le rendement du globe atteint 0.61.

Pour comparer les résultats de la lampe Bremer avec ceux que donnent les lampes à arcs ordinaires, il a été fait deux expériences : la première, dans les conditions normales de fonctionnement d'un arc de même puissance (44 volts 8 ampères), avec des charbons du diamètre habituellement choisi par les constructeurs pour cette intensité, c'est-à-dire A12/H8 ; une seconde expérience a été faite toujours dans les mêmes conditions de puissance dépensée, mais avec des charbons du même diamètre que ceux de M. Bremer. Cette expérience a été reprise, l'arc étant enfermé dans le globe employé par M. Bremer pour sa lampe. Les conditions des expériences et les principaux résultats sont portés dans le tableau suivant. Les mesures photométriques et électriques ont été faites avec les mêmes appareils et dans les mêmes conditions que la première série d'expériences.

		D.	A_1.	
Charbons employés...	positif.....	à âme. 12	à âme. 7	à âme. 7
	négatif.....	hom.. 8	hom.. 6	hom.. 6

		RÉGIME DE LA LAMPE		
		SANS GLOBE.	SANS GLOBE.	AVEC GLOBE.
Intensité du courant.....	moyenne.....	8	8.9	8.85
	variation.....	"	8.7–9.1	"
Différence de potentiel....	moyenne.....	44	43.3	43.75
	variation.....	"	42.5–44	"
Puissance dépensée.....		352	386	386
Intensité moyenne sphérique.....		335	518	361
Intensité hémisphérique inférieure.....		584	825	590
Flux lumineux total.....		4210	6500	4530
Dépense sphérique en watt par bougie moyenne sphérique.....		1.05	0.746	1.07
Watt par bougie hémisphérique inférieure..		0.602	0.468	0.655
Watt par lumen.....		0.0835	0.0594	0.0853
Lumens par watt.....		12	16.8	11.7

On voit donc que, dans les conditions des expériences qui se rapprochent le plus possible du fonctionnement de la lampe Bremer, l'arc à courant continu possède un rendement nettement inférieur.

On a en effet :

	SANS GLOBE.			AVEC GLOBE		
	remer.	Arc.	RAPPORT Bremer/arc.	Bremer.	Arc.	RAPPORT Bremer/arc.
Dépense spécifique (watt par bougie sphérique).	0.385	0.746	0.515	0.628	1.07	0.587
Rendement (lumens par watt).....	32.7	16.8	1.94	20	11.7	1.7

Sans globe, le rendement de la lampe Bremer serait à peu près le double du rendement de l'arc. En ne considérant que la lumière émise dans l'hémisphère inférieur, l'avantage serait encore plus grand.

Avec le globe, le rapport des rendements diminue, mais soit pour la totalité de la lumière, soit en ne considérant que celle qui est émise en dessous de l'horizon, il atteint encore la valeur 3/2.

Conclusions. — La lampe Bremer n'a pas encore reçu sa forme définitive et véritablement industrielle. Cependant elle fonctionne dès à présent dans des conditions acceptables et à peu près suffisantes pour un emploi pratique.

La lampe n'ayant été à notre disposition que pendant fort peu de temps n'a été essayée qu'au point de vue photométrique; il n'est donc pas possible d'appuyer ces appréciations de données précises sur les variations du régime et la sensibilité du réglage.

La palette d'allumage et de réglage, qui paraît être indispensable au principe de la lampe, présente un inconvénient par suite de son fonctionnement même, en particulier pour son usure trop rapide.

Quand l'arc fonctionne sans globe, les courants d'air agissent sur la flamme et causent des variations d'intensité lumineuses très sensibles, variations qui disparaissent dès que l'arc est muni de son globe.

Le charbon positif employé par M. Bremer est un crayon à très basse tension; son emploi avec une différence de potentiel de 45 volts n'est possible que grâce au soufflage de l'arc. Sa composition spéciale donne à la lumière une coloration très agréable.

La lampe essayée au régime indiqué par M. Bremer fonctionnait avec une intensité qui peut paraître excessive pour le diamètre des charbons; il est probable que des considérations d'usure des crayons et de durée d'éclairage feront diminuer en pratique la densité du courant. La dépense spécifique et le rendement lumineux seront modifiés en conséquence et deviendront moins bons. Cependant, comme l'arc pris comme comparaison avait également ce régime excessif, il est possible qu'en prenant pour les deux sources de lumière un fonctionnement normal, le rapport des rendements ne soit pas beaucoup changé.

On peut donc dire que la lampe Bremer, quoique n'étant pas encore entièrement au point, présente des avantages très notables.

COURBES DE RÉPARTITION LUMINEUSE.

		LUMIÈRE BREMER		ARCS ORDINAIRES		
Charbons..	positif....	A âme B7	A âme B7	N. à âme. 12	S. à âme. 7	S. à âme. 7
	négatif....	Hom. S6	Hom. S6	N. hom. 8	S. hom.. 6	S. hom.. 6

	RÉGIME DE LA LAMPE.				
	SANS GLOBE.	AVEC GLOBE.	SANS GLOBE.	SANS GLOBE.	AVEC GLOBE.
	—	—	—	—	—
Différence de potentiel...	45.2	45.9	44	43.3	43.75
Intensité.....	9.45	8.73	8	8.9	8.85
Puissance.....	427	400	352	386	386
Intensité lumineuse :					
40°.....	//	100	73.5	50	118
60.....	//	370	109	178	171
80.....	//	520	96	480	282
90 (horizon).....	100	660	120	300	358
100.....	455	720	290	585	414
110.....	1,250	830	560	880	470
120.....	2,250	975	810	1,000	535
130.....	3,380	1,060	1,060	1,170	656
140.....	3,540	1,175	915	1,220	648
150.....	4,060	1,195	//	1,100	655
160.....	4,575	1,215	//	506	625
170.....	4,000	1,010	//	100	559
180.....	4,250	1,110	//	//	540
Intensité moyenne sphér.	1,110	638	335	518	361
Watt par bougie sphér..	0.385	0.628	1.05	0.746	1.07

TROISIÈME PARTIE.

LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE PAR INCANDESCENCE.

CHAPITRE PREMIER.

GÉNÉRALITÉS.

Nous ferons, au sujet de la lumière électrique par incandescence, la même remarque qu'au sujet de l'arc : les progrès effectués depuis la dernière exposition sont bien plutôt des progrès de développement que des progrès de nouveauté; ce développement est bien mis en évidence, en particulier, par le tableau suivant qui constituait l'exposition, dans la Classe 25, des six secteurs d'électricité de Paris.

LES SIX SECTEURS D'ÉLECTRICITÉ DE PARIS.

SITUATION AU 31 DÉCEMBRE 1899.	
Capital engagé — Actions	63,000,000f
Capital engagé — Obligations	26,685,000
Capital engagé — Compte courant	19,000,000
TOTAL	108,685,000
Puissance des usines en kilowatts — Machines	23,515kw
Puissance des usines en kilowatts — Accumulateurs	3,886
TOTAL	27,401
Réseau de distribution (longueur)	475,124.
Branchements extérieurs (nombre)	9,746
Branchements extérieurs sur colonnes montantes (nombre)	12,182
Nombre d'abonnés en service, nombre	19,284
Puissance traduite en lampes de 10 bougies — pour l'éclairage	1,150,083
Puissance traduite en lampes de 10 bougies — pour la force motrice	144,310
Puissance traduite en lampes de 10 bougies — pour le chauffage	2,874
Puissance traduite en lampes de 10 bougies — pour la charge des accumulateurs	5,223
ENSEMBLE	1,302,490
Éclairage public et municipal traduit en lampes de 10 bougies	30,732
TOTAL DES LAMPES	1,333,222
Nombres de kilowattheures vendus pendant l'année 1899	21,097,223kw
Recette correspondante	18,441,783f
Prix moyen du kilowattheure	87 centimes.

LES SIX SECTEURS D'ÉLECTRICITÉ DE PARIS.

PUISSANCE INSTALLÉE TRADUITE EN LAMPES DE 10 BOUGIES.

Service municipal : chiffres gras. — Services des particuliers : chiffres ordinaires.

AU 31 DÉCEMBRE.	1888.	1889.	1890.	1891.	1892.	1893.	1894.	1895.	1896.	1897.	1898.	1899.
1,300,000												1,302,490
1,200,000												
1,100,000												
1,000,000											1,054,627	
900,000												
800,000										818,106		
700,000												
600,000									618,900			
500,000												
400,000								473,127				
300,000							381,765					
200,000					219,669	293,653						
100,000				151,312								
90,000			95,141									
80,000												
70,000												
60,000												
50,000												
40,000		44,034										
30,000												30,732
20,000										10.445	14,766	
10,000	8,863	1,419	3,392	4,308	4,684	7,240	7,535	7,862	8,945			

La production des lampes a naturellement suivi la même progression que la consommation.

Certaines sociétés, comme la Compagnie générale des lampes, en France, et l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, en Allemagne, fabriquent de 25 à 30,000 lampes par jour. La production annuelle peut être évaluée à 30 millions pour l'Europe et à une quantité presque égale pour l'Amérique. La fabrication s'est améliorée surtout en assurant des produits plus homogènes et d'un meilleur rendement lumineux, et en même temps le prix de revient s'est abaissé considérablement : la courbe suivante (fig. 59), qui nous a été communiquée par la Compagnie générale d'électricité, montre cet abaissement progressif du prix depuis 1889 jusqu'à 1900; on voit que le prix minimum est tombé de 5 francs à 0 fr. 50. La seule nouveauté de principe était représentée à l'Exposition de 1900 par la lampe Nernst à laquelle une étude spéciale est réservée.

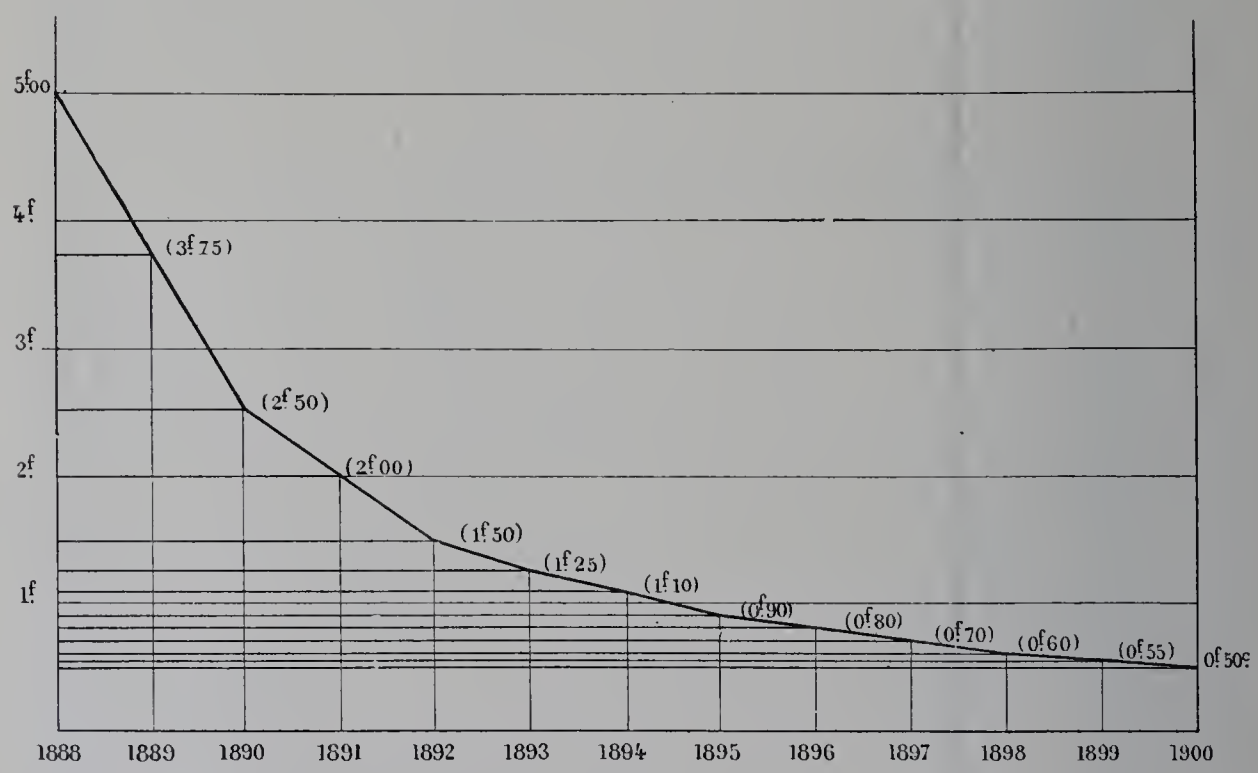


Fig. 59.

La fabrication des lampes proprement dites tend à s'uniformiser. Au lieu de la variété des matières premières qui ont été employées autrefois (carton, bambou, etc.), la cellulose pure forme aujourd'hui la base la plus générale des produits employés. Le dissolvant seul diffère et la constitution exacte de la pâte semi-fluide est tenue secrète ; l'éther, le chlorure de zinc, etc., semblent généralement employés. Cette pâte est passée sous pression à travers des filières convenables, et les fils ainsi obtenus, préalablement desséchés, présentent assez bien l'aspect et l'élasticité du crin de cheval; ils sont blancs, soyeux, résistants, et ressemblent assez (en filaments plus gros) à la soie artificielle avec laquelle ils ont certainement une communauté d'origine.

Ces filaments, enroulés en grand nombre sur des moules appropriés en charbon,

pour leur donner leur forme définitive bien connue, sont portés à une haute température, à l'abri de l'air, dans des fours spéciaux.

Il s'agit maintenant de monter ce filament à l'intérieur de l'ampoule, en ménageant les communications nécessaires avec l'extérieur. On sait que la principale difficulté que l'on rencontre pour cela est le choix d'un métal qui puisse se souder au verre tout en ayant le même coefficient de dilatation que lui. Jusqu'ici, malgré bien des tentatives, le platine seul paraît répondre à cette nécessité; aussi les efforts des fabricants ont-ils tendu, à cause du prix élevé de ce métal, à le réduire au strict nécessaire.

Le fil métallique qui supporte le filament (nous prenons un type de fabrication courante) est composé de trois métaux soudés l'un à l'autre : un fil de nickel auquel sera fixé le filament, un fil de platine de quelques millimètres de long pour la traversée du verre, et enfin un fil de cuivre qui traversera toute l'épaisseur de la douille.

L'extrémité du fil de nickel qui doit être soudée au filament est légèrement aplatie puis passée à la filière de manière à prendre la forme d'une gouttière cylindrique; ce travail est fait à la main, comme tous ceux, d'ailleurs, qui constituent la fabrication de la lampe. Ces fils, ainsi préparés, sont ensuite soudés, par l'intermédiaire de la partie platine, dans leur monture de verre; cette monture est formée par un tube court dont on évase une extrémité en forme de collerette et dont on aplatit l'autre en la soudant sur les deux petits fils de platine.

Les extrémités du filament sont alors enfilées dans les deux petits tubes qui forment les extrémités des deux fils de nickel; la soudure est obtenue en général par le procédé suivant : le filament et son support sont saisis par une pince spéciale, de manière à n'établir le courant que dans les points à souder; le tout est posé dans un hydrocarbure liquide; en quelques instants, sous l'influence de la chaleur, un dépôt de carbure très résistant se pose au point de contact et assure une liaison intime entre le filament et son support.

Pour des lampes à faible intensité, la soudure du filament est effectuée au moyen d'une pâte d'une composition non donnée.

La carburation, à laquelle on soumet alors le filament, a pour but de donner au filament la résistance voulue tout en corrigeant ses irrégularités accidentelles; on l'obtient en portant le filament à une haute température dans une atmosphère de gaz carboné, au moyen du courant lui-même; on suit au pont de Wheatstone, ou par un procédé quelconque, la variation de la résistance du filament pendant cette opération; la couche de carbone qui se dépose ainsi est plus dure que le filament lui-même et augmente sa durée. On verra plus loin que la plupart des lampes que nous avons essayées présentent, dans les premiers temps de leur fonctionnement, un accroissement notable d'intensité lumineuse; cet accroissement est évidemment dû à une modification qui s'effectue, sous l'influence du courant, dans la couche superficielle de carburation.

Après ces opérations, le filament est introduit dans l'ampoule par la partie inférieure de celle-ci, et l'on soude au chalumeau la collerette du support avec les bords de l'ampoule.

Le vide est fait dans les lampes par l'intermédiaire d'un petit tube soudé à la partie supérieure de l'ampoule et par lequel on la met en communication avec des pompes à mercure; pendant cette opération, on fait passer le courant dans le filament pour chasser les derniers gaz qui pourraient y être retenus, puis on ferme au chalumeau.

La dernière opération consiste à munir la lampe d'un culot à vis ou à baïonnette et à souder les deux fils de cuivre aux deux pièces de contact.

La lampe passe alors à l'étalonnage; on détermine ses constantes (intensité lumineuse, volts, ampères) et on rejette toutes celles qui présentent des anomalies [1].

La variante la plus intéressante à ce procédé que nous ayons à signaler est celle qui est employée par la Société centrale d'électricité et de lampes à incandescence (usines Pulsford). M. Pulsford emploie pour faire, ou plutôt pour terminer le vide dans ses lampes, le procédé Malignani, dit « procédé du vide chimique »; ce procédé a l'avantage de permettre l'emploi de pompes ordinaires au lieu de pompes à mercure, toujours délicates et coûteuses; on fait d'abord le vide au moyen de ces pompes le plus parfaitement possible, c'est-à-dire jusqu'à 1 ou 2 millimètres de mercure, puis on introduit dans l'ampoule une très petite quantité de vapeur d'éther, mais le vide continue à se faire sur cette vapeur, de sorte que ce sont les dernières traces d'éther dont il faut se débarrasser; pour cela, on introduit dans le gueusot de la lampe une très petite quantité de phosphore rouge qu'on chauffe légèrement au moyen d'un bec de gaz, d'abord avant, puis après la séparation de la lampe et de la pompe. Le point le plus intéressant du procédé que nous avons pu suivre dans tous ses détails à l'Exposition même, grâce à l'obligeance de M. Pulsford, consiste dans la manière dont on reconnaît la marche progressive du vide. Dès que ce vide est assez grand pour qu'on puisse chauffer le filament sans danger de combustion, on établit entre les bornes une différence de potentiel qu'on peut rendre graduellement croissante au moyen d'un rhéostat. Dès que le vide est suffisant, on voit apparaître, à la base positive du filament, une effluve bleue et, pour éviter un échauffement excessif de ce point, on inverse constamment le courant; à mesure que le vide augmente, l'effluve semble envahir tout l'intérieur de l'ampoule; c'est à ce moment que l'on coupe, par un premier trait de chalumeau, la communication avec la pompe. Si l'on continue à chauffer le phosphore, le vide devient parfait et il arrive un moment où l'effluve bleue disparaît brusquement; le phénomène est très net et intéressant à observer; c'est à ce moment que l'on sépare, par un second trait de chalumeau, le gueusot, et puis la lampe est terminée.

La forme des lampes n'a pas changé; le filament est presque toujours en fer à cheval ou en boucle. Comme exception à peu près unique, nous citerons la lampe dite *la Saymar,* qui présentait un filament en hélice muni d'un cylindre central en émail blanc.

[1] Tous les renseignements qui précèdent m'ont été obligeamment fournis par M. Javaux, directeur de la Société Gramme, qui a adjoint une importante abrique de lampes à ses ateliers de construction. D'ailleurs, le public pouvait, à l'Exposition même, suivre les opérations principales de la fabrication des lampes, grâce à l'atelier réduit qui avait été organisé par la Compagnie générale d'électricité. Cette compagnie présente ce caractère intéressant, qu'elle fabrique elle-même toutes les parties de la lampe, depuis le culot jusqu'à l'ampoule.

L'effet produit est agréable, mais le prix de la lampe est sensiblement plus élevé.

Nous donnons ci-dessous (fig. 60) une courbe de répartition de la lumière dans un plan horizontal pour la lampe à filament en hélice et cylindre central en émail blanc; on trouvera dans le chapitre suivant une courbe analogue pour une lampe ordinaire.

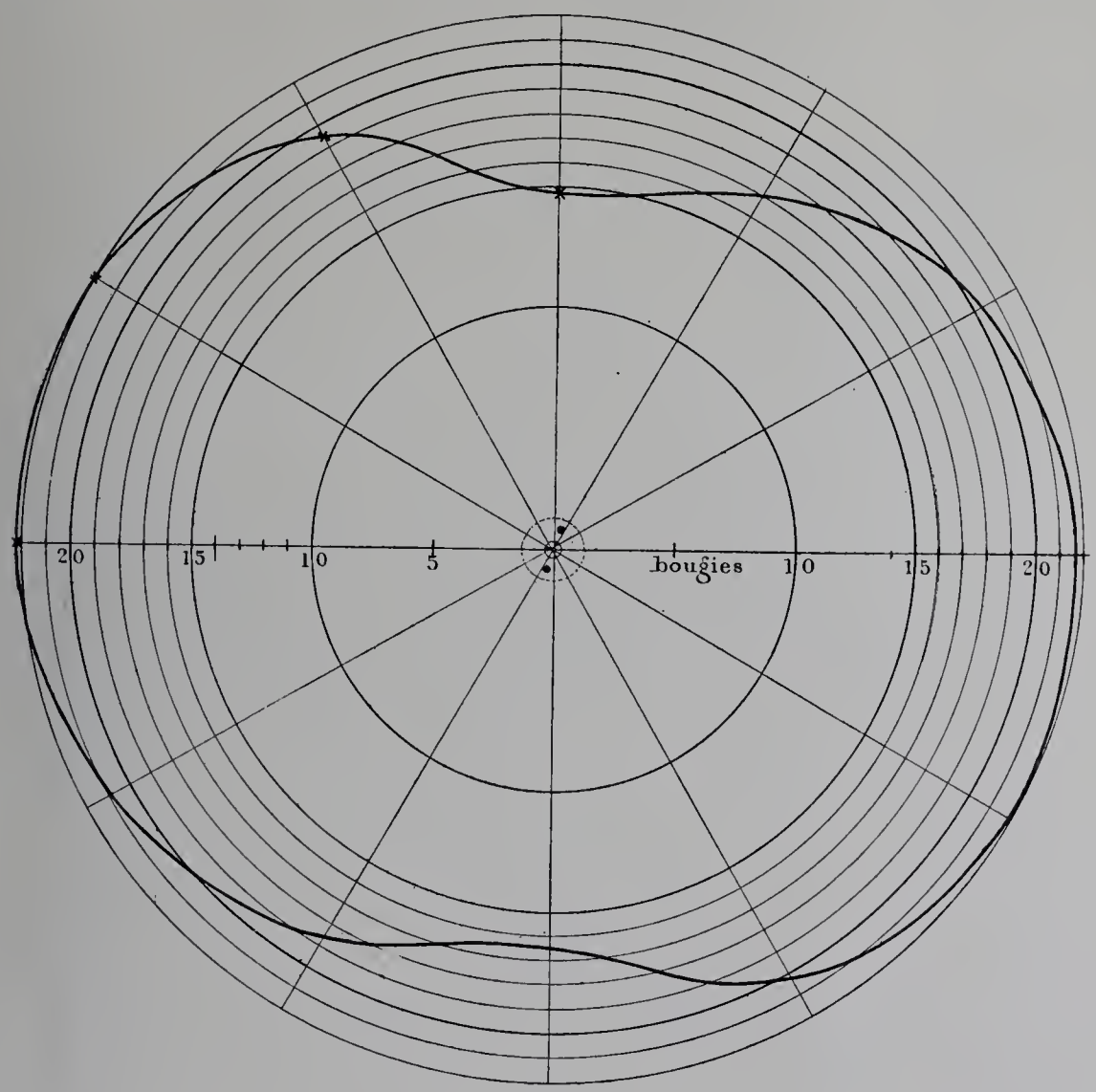


Fig. 60.

Un certain nombre de constructeurs munissent leurs lampes de réflecteurs quand elles sont destinées à éclairer surtout dans une direction déterminée. Tantôt ces réflecteurs sont amovibles, tels sont ceux de la maison Sturm, de Vienne, en verre double argenté intérieurement; tantôt ils font partie intégrante de la lampe, tel est le cas de la *glow lampe,* qui emploie des ampoules de forme spéciale, assez évasées du côté du culot, et argentées de ce côté de manière à former réflecteur; l'argenture est protégée par un dépôt galvanique de cuivre; dans d'autres cas, le miroir d'argent est remplacé par un réflecteur opale amovible. Nous donnons ci-après (fig. 61) une courbe de répartition de la lumière dans un plan vertical relatif à ce dernier cas : on voit que

l'avantage est considérable quand il s'agit d'éclairer une région déterminée, mais ce serait une grosse erreur que de prendre l'intensité maxima dans cette direction pour calculer la dépense spécifique de la lampe en watts par bougie. La figure 62 donne la répartition verticale d'une lampe ordinaire[1].

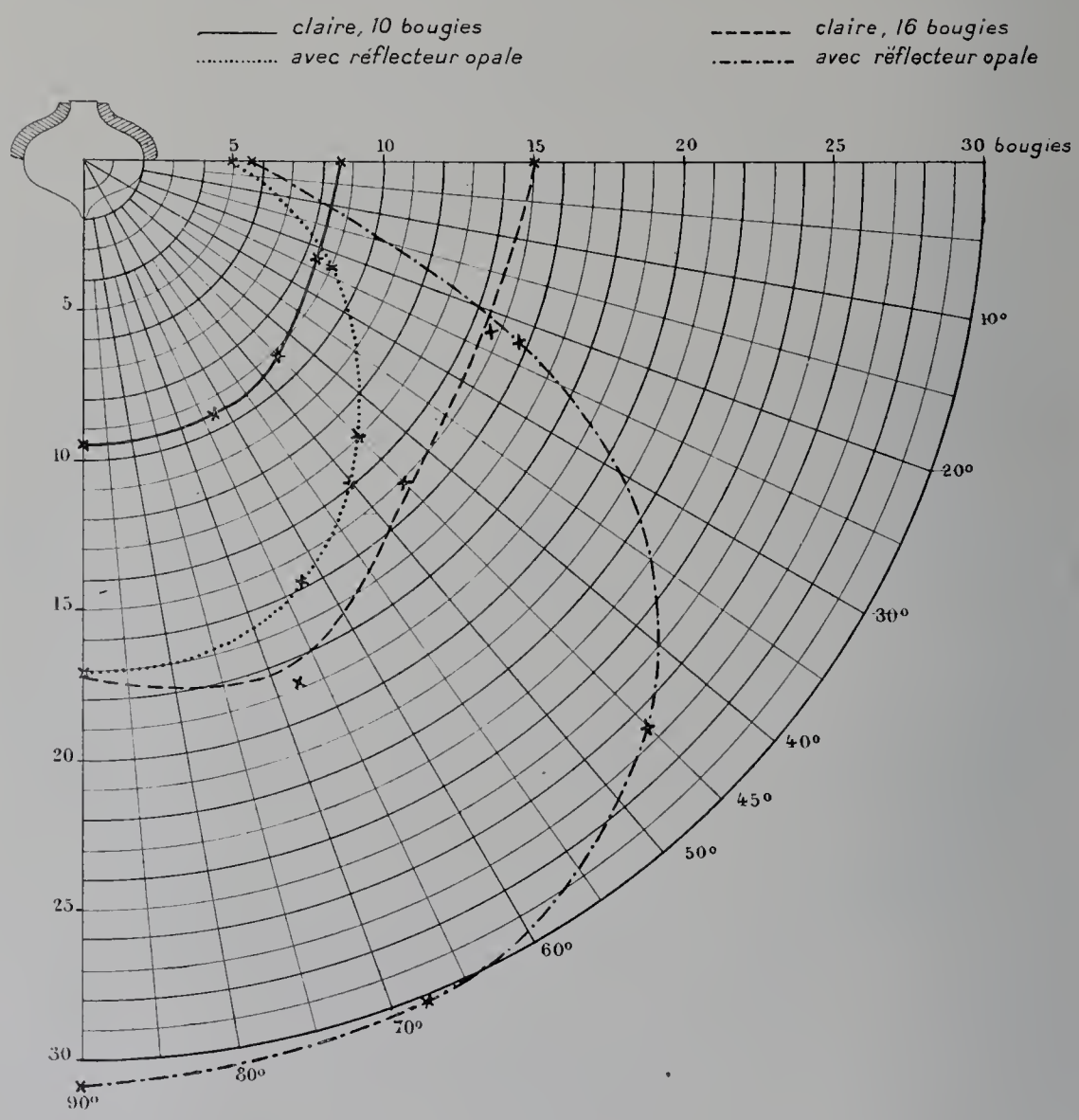


Fig. 61.

Les culots des lampes continuent à présenter une diversité extrême : la maison Sturm et Cie, de Vienne, en exposait une collection où ne figuraient pas moins de vingt-sept types différents. La douille à baïonnette, très employée en France, l'est peu à l'étranger où domine la douille à vis, mais l'on trouve encore les culots Bernstein, Victoria, Helios, Nerndel, Siemens, Thomson-Houston, Swan, Svift, Ganz, Egger, Westinghouse, etc.

La même maison Sturm exposait un modèle intéressant de culot sans plâtre, la

[1] Expériences faites au Laboratoire central d'électricité.

lampe étant retenue à sa monture métallique par deux goupilles engagées dans deux petites cavités de l'ampoule et soudées de l'extérieur au culot [1].

Nous avons remarqué également les perfectionnements apportés par cette maison à la douille Edison, en vue d'empêcher son desserrage par suite de trépidation.

Enfin la même exposition présentait une collection importante de lampes minuscules destinées soit à des usages médicaux, soit à l'ornementation.

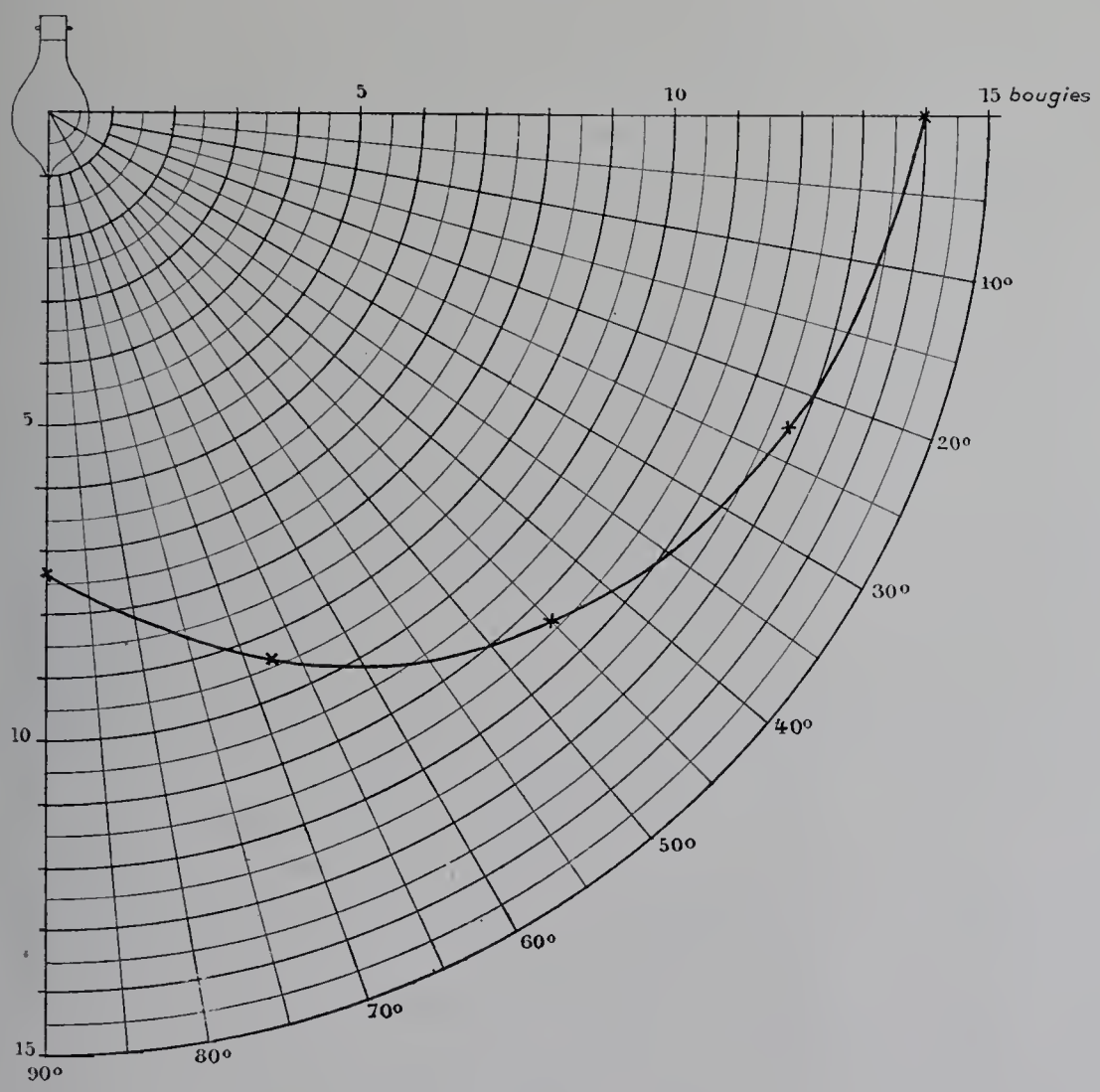


Fig. 62.

Parmi les cas particuliers intéressants, nous avons encore noté les lampes Phelps (États-Unis), à deux intensités différentes : ce sont des lampes à deux filaments donnant par exemple l'un 16, l'autre 5 bougies; la lampe est montée sur une douille à vis, et l'on passe d'une intensité à l'autre par une simple rotation d'un quart de tour.

Au point de vue de la tension, la nouveauté la plus intéressante de l'Exposition de 1900 était l'apparition des lampes à 220 volts. L'Exposition même en offrait une appli-

[1] Signalons, dans le même ordre d'idées, les lampes sans culot de M. Lorsay, qui, à notre connaissance, ne figuraient pas à l'Exposition, mais ont été présentées au Congrès international d'électricité.

cation sur une grande échelle, puisque la distribution par courant continu était faite à trois fils sous 2 × 220 volts, et un grand nombre des lampes employées étaient à cette tension.

L'essor de la fabrication de ces lampes à tension relativement élevée est dû bien moins aux besoins des consommateurs qu'à l'avantage des stations centrales. Les stations nouvelles qui se montent à trois fils par 2 fois 220 volts peuvent déjà, tout en restant dans ce qu'on est convenu d'appeler la basse tension, alimenter un périmètre considérable. Un grand nombre de villes sont, dès maintenant, alimentées de cette manière, et quant aux stations anciennes, il est évident qu'elles peuvent doubler la capacité de leur réseau en doublant la tension; il en existe dès maintenant des exemples.

Les lampes à 220 volts sont formées soit de deux filaments de 110 en série, soit d'un seul filament. Leur construction demande des soins particuliers : il faut craindre un arc s'amorçant entre les deux racines du filament; on les isole très soigneusement l'une de l'autre soit par de petits tubes de verre, soit par tout autre procédé. Nous donnerons plus loin un certain nombre d'essais sur des lampes de cette espèce.

A l'autre extrémité de l'échelle, nous trouvons les lampes à basse tension, de 20 à 25 volts par exemple; ces lampes ayant, à intensité lumineuse égale, des filaments plus gros et plus courts, sont moins sensibles que les autres aux variations accidentelles de tension; elles sont employées fréquemment pour l'éclairage des wagons où l'on ne dispose pas d'une force électromotrice élevée; la Compagnie Helios les a appliquées, au contraire, pour l'éclairage du canal de Kiel, dans une distribution en série, à haute tension (7,500 volts), avec bobine de réaction en dérivation sur chaque lampe pour éviter l'interruption du courant en cas de rupture de la lampe. Enfin, M. Weissmann propose de les appliquer aux distributions ordinaires à 110 ou même 220 volts par l'intermédiaire de petits transformateurs individuels placés après l'interrupteur de chaque lampe ou de chaque groupe de lampes. D'après l'auteur, les lampes à basse tension peuvent, sans inconvénient pour le filament, être poussées beaucoup plus que les lampes à tension moyenne et à filament plus fin, et par conséquent donner un régime beaucoup plus économique; M. Weissmann indique, pour une lampe de 16.5, une consommation spécifique de 1 watt 67 par bougie, avec une baisse de 15 p. 100 d'intensité lumineuse en 200 heures, et une augmentation de 16 p. 100 de la consommation spécifique. Les résultats que nous avons observés sur les lampes à basse tension, quoique meilleurs que ceux des lampes à tension normale, ne sont pas aussi favorables que ceux-ci. Il faut observer d'ailleurs qu'une des causes de la baisse d'intensité lumineuse des lampes poussées résulte du noircisment de l'ampoule, et que cette cause est à peu près aussi importante avec les lampes à gros filaments qu'avec les autres.

Les lampes à grande intensité lumineuse sont toujours peu répandues; en présence, cependant, des grandes consommations des lampes en vase clos, il y a lieu de se demander s'il n'y aurait pas intérêt à revenir de ce côté.

Nous n'entrerons pas ici dans le détail des expositions particulières que nous avons

pu examiner; nous en avons déjà signalé un certain nombre, nous ajouterons ici le nom de M. Larnaude (France) qui présentait une collection intéressante de ses différents types de lampes terminés ou à diverses étapes de la fabrication, et qui est outillé pour une production de 7,000 lampes par jour. Nous citerons également les importantes maisons Kremenezky (Autriche), Sociétés anonymes réunies d'électricité (Hongrie), Société Cruto (Italie), etc. M. Véry (France) nous a également présenté quelques bons échantillons.

Il sortirait de notre cadre d'examiner ici le rôle que jouait à l'Exposition même l'éclairage par incandescence : on trouvera, sur ce sujet, des renseignements complets dans les publications spécialement affectées à ce compte rendu. Nous devons néanmoins citer les principaux auteurs des illuminations de l'Exposition, qui ont le droit de considérer comme partie intégrante de leur exposition les installations temporaires ou définitives qui leur avaient été demandées; c'est ainsi que nous rappellerons les noms de MM. Vedovelli et Priestley et de M. Henri Beau. Aux premiers était due l'installation des fontaines lumineuses que personne n'a oubliées et dont nous ne pouvons pas songer à donner ici même une description sommaire, et quant à M. Beau, en dehors de l'illumination d'une partie de la façade du Palais de l'Électricité, il fut chargé à plusieurs reprises de l'organisation des fêtes de nuit qui furent données dans l'enceinte de l'Exposition. Le Jury a particulièrement remarqué la manière pratique et rapide dont se faisait la liaison provisoire des ballons de celluloïd destinés à former les effets lumineux et décoratifs les plus variés; comme illustration de ses travaux, M. Beau exposait des dessins représentant les principales illuminations qu'il avait organisées dans ces dernières années : couronnement de la reine de Hollande, jubilé de la reine d'Angleterre, triomphe de la République (1899), fête en l'honneur de l'Empereur et de l'Impératrice de Russie (1896), fête des comités d'installation à l'Opéra (1897).

Nous signalerons comme particulièrement intéressant le modèle de prise de courant exposé par la maison Greil et Audiger (France) : grâce à ce système, on peut former des surfaces horizontales ou verticales (tables, planchers, murs, plinthes, etc.) entièrement polarisées, de sorte qu'il suffit d'enfoncer dans cette paroi (dont la consistance est assez molle) une lampe à incandescence munie de deux pointes aiguës pour obtenir, en un point quelconque, l'allumage de la lampe. Nous n'avons pu avoir aucun renseignement précis sur la structure exacte de ces parois qui, très probablement, sont faites d'un quadrillage de cloisons isolantes formant alvéoles, chaque alvéole étant remplie d'un amalgame conducteur alternativement en communication avec les deux pôles de la source.

IMPRIMERIE NATIONALE.

CHAPITRE II.

ESSAIS PHOTOMETRIQUES ET ESSAIS DE DUREE DES LAMPES À INCANDESCENCE.

Détermination du flux lumineux d'une lampe à incandescence. — Les constructeurs de lampes commencent à manifester une tendance à modifier la forme du filament des lampes à incandescence. Le flux lumineux total émis reste certainement le même, mais l'intérêt de ce changement est de pouvoir ainsi augmenter l'intensité lumineuse dans certaines directions aux dépens des autres.

Il a donc paru utile d'étudier la courbe de répartition lumineuse d'une lampe employée actuellement et de mesurer son flux total.

L'étude a été faite sur une lampe Kremenesky de 16 bougies 110 volts.

Répartition lumineuse horizontale. — La lampe, placée verticalement, était montée sur un support tournant. L'intensité lumineuse a été mesurée de 22 en 22 degrés. Les angles ont été comptés à partir de la perpendiculaire à la ligne qui passe par les soudures du filament. Cette direction, comme on le verra plus loin, est assez voisine du maximum d'intensité lumineuse, mais ne se confond cependant pas avec elle. Elle a été choisie parce qu'elle est plus facile à repérer.

On trouvera plus loin le tableau des intensités lumineuses dans chaque direction, et l'on remarquera qu'elles diffèrent assez peu les unes des autres.

Voici un tableau résumé des résultats principaux :

Différence de potentiel		(volts).	110
Intensité		(ampère).	0.465
Puissance		(watts).	51.2
Intensité lumineuse	maximum	(bougies).	16.0
	minimum	(*idem.*)	14.0
	moyenne horizontale	(*idem.*)	15.2
$\frac{\text{Intensité minimum}}{\text{Intensité maximum}}$			0.875
$\frac{\text{Intensité moyenne}}{\text{Intensité maximum}}$			0.95

Il en résulte pour la dépense spécifique les chiffres suivants, d'après l'intensité que l'on choisit pour caractériser la lampe :

Dépense spécifique	Intensité maximum	3.21 watts/bougies.
	Intensité moyenne horizontale	3.28

Comme on le remarque, ces chiffres diffèrent peu l'un de l'autre (5 p. 100).

Si l'on représente graphiquement les résultats (fig. 63), on obtient une courbe elliptique

assez voisine d'une circonférence. En traçant la projection horizontale du filament au pôle de la bourse, on remarque que l'intensité lumineuse maximum correspond à la perpendiculaire à un plan vertical qu'on pourrait appeler *plan moyen du filament.* L'intensité est minimum dans la direction de la trace horizontale de ce plan.

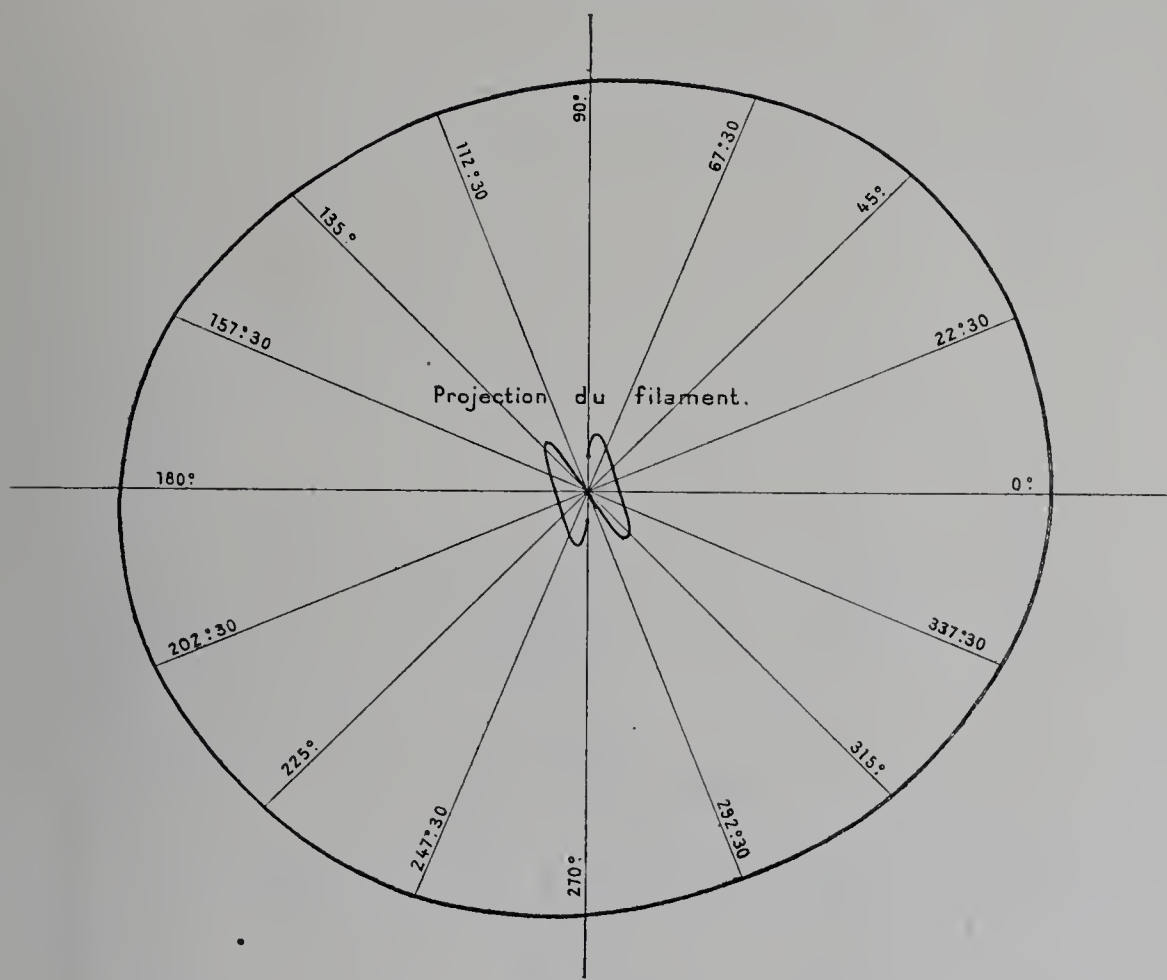


Fig. 63.

Répartition lumineuse dans des plans verticaux. — La douille de la lampe était fixée à un support pouvant tourner autour d'un axe horizontal perpendiculaire à l'axe du photomètre. Par un réglage préalable, on amène le centre de la lampe à se trouver sur l'axe de rotation. En faisant pivoter la lampe autour de cet axe, on peut étudier la variation de l'intensité lumineuse dans le plan vertical de l'axe du photomètre. En déplaçant ensuite la lampe autour de son axe, on peut étudier successivement la répartition lumineuse dans différents plans verticaux.

Les mesures ont été faites :

1° Dans le plan vertical perpendiculaire à la ligne joignant les deux soudures du filament ;

2° Dans un plan vertical à 45 degrés de cette ligne :

3° Dans le plan vertical de cette même ligne.

La forme de ces trois courbes reste la même; celle qui correspond à l'intensité maximum horizontale enveloppant les autres. L'une d'entre elles a été tracée seule (fig. 64) afin de ne pas charger la figure sans intérêt.

L'intensité maximum a lieu pour la direction horizontale; l'intensité suivant l'axe de la lampe est environ moitié moindre. Dans l'intervalle, la variation se fait d'une façon continue.

En dessous de l'horizon, l'intensité lumineuse décroît plus vite, surtout après 45 degrés, et la douille porte une ombre conique autour de l'axe de la lampe de 15 à 20 degrés d'ouverture.

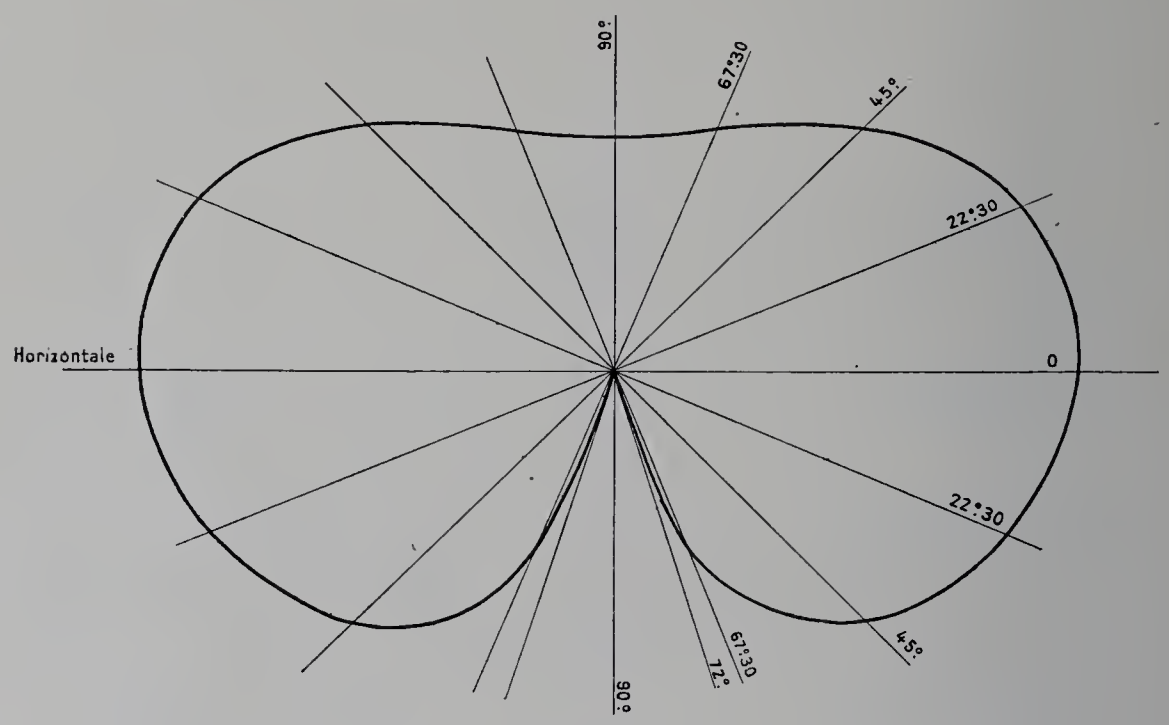


Fig. 64.

On a calculé sur ces données l'intensité moyenne sphérique et l'intensité moyenne hémisphérique. On en a déduit les dépenses spécifiques correspondantes. Les résultats sont portés sur le tableau suivant. Il est utile de remarquer que le rapport entre l'intensité moyenne sphérique et l'intensité horizontale maximum ne dépend que de la forme de la lampe et du filament. C'est une donnée utile à connaître dans l'étude des problèmes d'éclairage.

Tableau I. — Répartition lumineuse horizontale.

(Lampe 110 volts, 16 bougies.)

Différence de potentiel	(volts).	110
Intensité	(ampère).	0.465
Puissance	(watts).	51.2

ANGLES.	INTENSITÉS LUMINEUSES.
0° (perpendiculaire à la ligne des soudures)	16
22 30′	15.9
45	15.6
67 30	15.4
90	14.2
112 30	14.1
135	14.6
157 30	15.3
180	16.1
202 30	15 9
225	15.6
247 30	15
270	14.9
292 30	14
315	15.1
337 30	15.5
Intensité moyenne horizontale (bougies).	15.2
Dépense spécifique... Intensité maximum (watts/bougies).	3.2
Dépense spécifique... Intensité moyenne (*idem.*)	3.38

Tableau II. — Répartition lumineuse verticale.

(Lampe 110 volts, 16 bougies.)

Intensités lumineuses..
- I. Dans le plan vertical perpendiculaire à la ligne des soudures.
- II. Dans le plan vertical à 45 degrés de la ligne des soudures.
- III. Dans le plan vertical de la ligne des soudures.

Différence de potentiel (volts). 110
Intensité (ampère). 0.465
Puissance (watts). 51.2

ANGLES.	I.	II.	III.
90° (suivant l'axe)	8	7.4	7.6
67 30′	9	8.6	10.5
45	12.1	11.2	11.9
22 30	15.2	13.8	14.2
0 (horizon)	16.1	14.4	14.7
22 30	14.9	13.3	13
45	12.4	11.6	10.5
67 30	7	6	5 7
72	2	//	2.8

Intensité moyenne sphérique 12.2 bougies.
Intensité moyenne hémisphérique 12.7
Flux lumineux total 153 lumens.

TABLEAU RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DE LA RÉPARTITION LUMINEUSE.

(Lampe 110 volts, 16 bougies.)

Régime de la lampe	Différence de potentiel	(volts).	110
	Intensité	(ampère).	0.465
	Puissance	(watts).	51.2
Intensité lumineuse	horizontale maximum	(bougies).	16.0
	horizontale moyenne	(*idem*) .	15.2
	moyenne sphérique	(*idem*) .	12.2
	moyenne hémisphérique	(*idem*) .	12.7
Flux lumineux total		(lumens)	153
Rapport : $\frac{\text{Intensité moyenne sphérique}}{\text{Intensité horizontale maximum}}$			0.76
Flux spécifique : $\frac{\text{lumens}}{\text{watts}}$			3
Dépense spécifique	$\frac{\text{Puissance}}{\text{Intensité moyenne sphérique}}$		4.2
	$\frac{\text{Puissance}}{\text{Intensité moyenne hémisphérique}}$		4.0

Étude comparative des lampes à incandescence de 110 et de 220 volts. — La variation des constantes des lampes à incandescence (intensité lumineuse, consommation, dépense spécifique) avec la durée de leur fonctionnement était une question particulièrement intéressante à étudier, afin de fixer sur ce point les progrès réalisés par les constructeurs. D'autre part, l'emploi des lampes à 220 volts est toujours très discuté. Une étude comparative des lampes de 110 et de 220 volts fonctionnant dans les mêmes conditions était donc tout indiquée.

Choix des lampes. — Les lampes ont été prises au hasard parmi celles que chaque constructeur avait envoyées au Laboratoire central d'électricité, à la demande du Jury de la Classe 25.

On a pris 34 lampes de 110 volts provenant de dix constructeurs différents. Elles étaient toutes données comme lampes de 16 bougies. Les unes ne portaient pas de qualificatif, les autres étaient dites *économiques*.

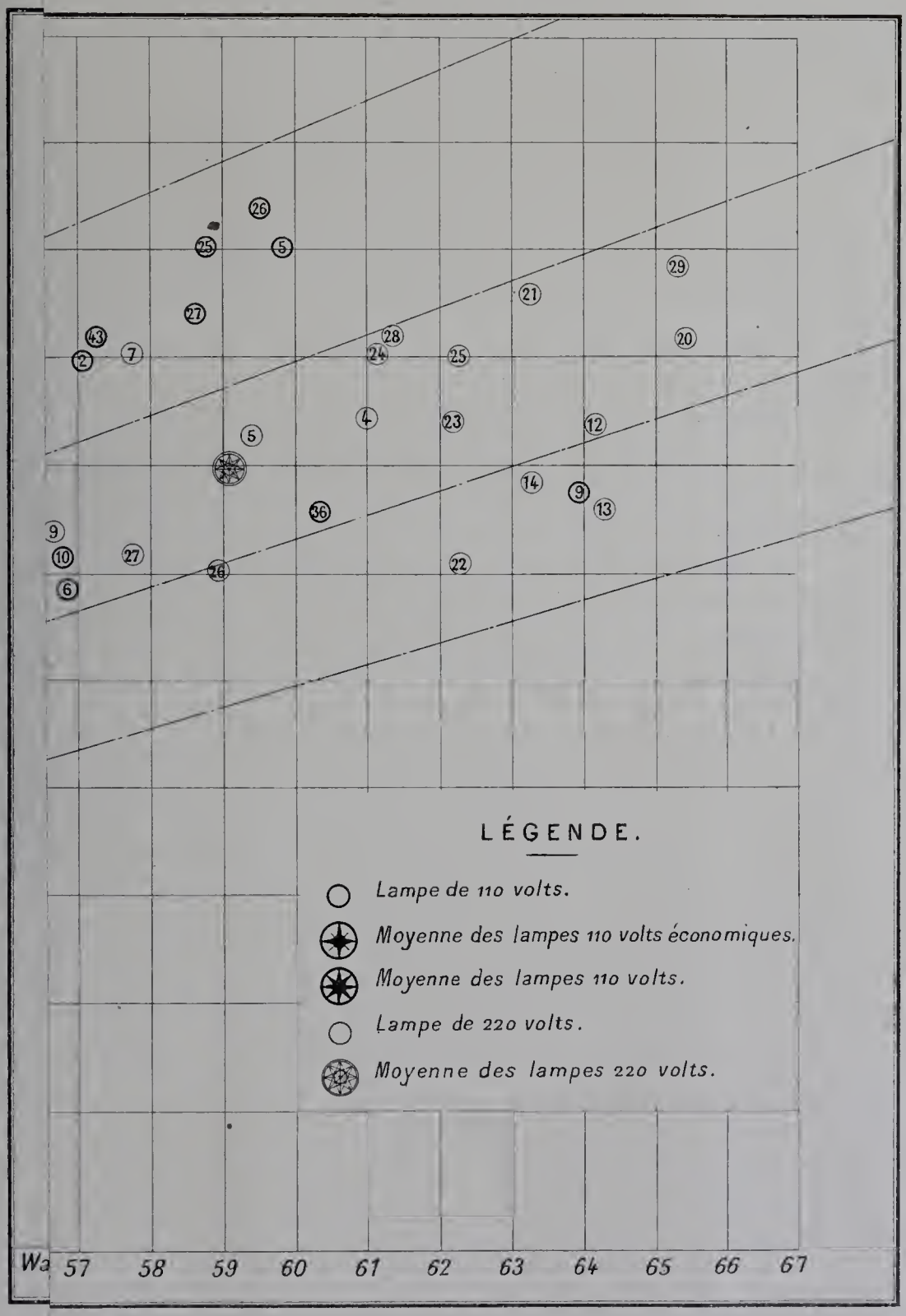
Pour les lampes de 220 volts, on a choisi aussi celles de 16 bougies. Parmi les 29 lampes étudiées provenant de neuf constructeurs différents, 14 étaient à deux filaments et 15 à filament unique.

Étalonnement des lampes. — Toutes les lampes ont été étalonnées dans les mêmes conditions. Les expériences ont été faites à la tension de 110 ou de 220 volts. Le courant était fourni par les batteries d'accumulateurs du Laboratoire. La différence de potentiel aux bornes de la lampe et l'intensité du courant étaient mesurées au moyen d'un galvanomètre Deprez d'Arsonval, réglé comme voltmètre et comme centi-ampèremètre. Les intensités lumineuses ont été déterminées avec un photomètre Lummer et Brodhun, en employant comme étalon lumineux une lampe à incandescence d'intensité bien connue et fréquemment vérifiée.

S.

Bougies.

Fig. 65



C. F. E.

L'intensité lumineuse a été mesurée perpendiculairement à l'axe de la lampe, suivant une direction normale à la ligne, joignant les soudures du filament. On obtenait ainsi l'intensité maximum donnée par la lampe, ou au moins une valeur qui s'en approchait beaucoup. Les lampes de 110 volts ont été essayées en deux séries différentes; la première de 14 lampes a été étudiée seule; la seconde série de 20 lampes en même temps que les lampes de 220 volts.

On trouvera ci-après le tableau des étalonnements de ces lampes. Les lampes poussées, vendues sous le nom d'*économiques*, sont marquées de la lettre *E*; enfin, les lampes à 220 volts à deux filaments sont indiquées par la lettre *D*.

Afin de grouper les résultats de façon à les rendre plus comparables, on a adopté la représentation graphique suivante (fig. 65).

Prenant sur l'axe des x une longueur proportionnelle à la puissance dépensée dans une lampe, on a porté en ordonnée une longueur proportionnelle à l'intensité lumineuse. Les constantes de la lampe sont donc données par les coordonnées de son point représentatif. On a reporté sur le graphique ci-joint les constantes de toutes les lampes essayées soit de 110, soit de 220 volts, afin de permettre les comparaisons. Les premières sont indiquées par un cercle noir épais portant le numéro d'ordre de la lampe, les secondes par un cercle d'un trait léger.

Les points du plan correspondant à une même dépense spécifique se trouvent sur une même droite facile à construire. On a donc tracé sur le graphique les droites représentant les dépenses spécifiques de 5, 4, 3 et 2 watts par bougie.

On remarquera que les lampes sont réparties dans des limites assez écartées. Il serait tout à fait inexact d'en conclure à de grandes irrégularités dans la fabrication. Les lampes de même provenance sont, au contraire, voisines les unes des autres. Les grandes variations proviennent des différences entre constructeurs et des dépenses spécifiques qu'ils cherchent à obtenir.

Si l'on fait les moyennes des résultats obtenus, on arrive aux nombres suivants pour les lampes neuves.

	INTENSITÉ LUMINEUSE. — bougies.	PUISSANCE DÉPENSÉE. — watts.	DÉPENSE SPÉCIFIQUE. — watts par bougie.
Lampes de 110 volts économiques.....	15	43	2.86
Lampes de 110 volts ordinaires.....	14.2	54.8	3.85
Lampes de 220 volts.....	14	59	4.2

Variation des constantes des lampes avec la durée de leur allumage. — Les lampes ont été mises en service dans les conditions mêmes de leur emploi sur un réseau d'éclairage. Elles ont été alimentées par le courant alternatif à 110 volts que distribue à ses abonnés la Compagnie électrique du Secteur de la Rive gauche à Paris. La fréquence est de 42 environ en moyenne. Les lampes ont donc été soumises aux variations de tension qu'elles doivent supporter en pratique.

Une première série de 14 lampes de 110 volts a été mise en service tout d'abord.

On trouvera dans les tableaux suivants les étalonnements successifs. Dans cette première série, la durée d'allumage entre deux étalonnements n'a pas été maintenue d'une façon systématique à la même valeur.

La seconde série de 20 lampes de 110 volts et les lampes de 220 volts ont été mises en service en même temps et aux mêmes heures. Le courant à la tension de 220 volts était fourni également par le Secteur de la Rive gauche au moyen de deux transformateurs à 110 volts, dont les secondaires étaient groupés en tension. De cette façon, les deux sortes de lampes étaient soumises à des variations proportionnelles. Dans cette deuxième série d'essais, les durées d'allumage ont été systématiquement de 50 heures, puis de 100 heures entre deux étalonnements successifs.

Les résultats portés dans les tableaux suivants ont servi à établir les graphiques correspondants (fig. 66 et 67). On a groupé les lampes fabriquées par le même constructeur, afin de pouvoir les comparer plus facilement.

Enfin on a établi pour chaque constructeur une feuille spéciale sur laquelle sont portées les moyennes des résultats obtenus avec les lampes analogues. On a pu ainsi faire disparaître les irrégularités dues aux erreurs d'expériences et obtenir des courbes caractéristiques régulières (fig. 68 à 75).

On remarquera que, pour presque toutes les lampes de 220 volts essayées, la puissance dépensée et l'intensité lumineuse augmentent pendant les 50 premières heures de fonctionnement, puis décroissent ensuite plus ou moins vite, selon le constructeur.

L'intensité lumineuse et sa variation avec la durée de fonctionnement de la lampe ne paraît pas très différente en moyenne pour 110 et pour 220 volts; mais dans ce dernier cas, en général, la puissance dépensée est notablement plus grande.

Voici la liste des constructeurs qui nous avaient confié des lampes de leur fabrication. Suivant la règle que nous nous sommes imposée, nous désignerons chaque constructeur par une lettre conventionnelle dans les tableaux et les courbes donnant les résultats obtenus.

LISTE DES CONSTRUCTEURS DONT LES LAMPES ONT ÉTÉ ESSAYÉES.

Lampes de 110 volts.

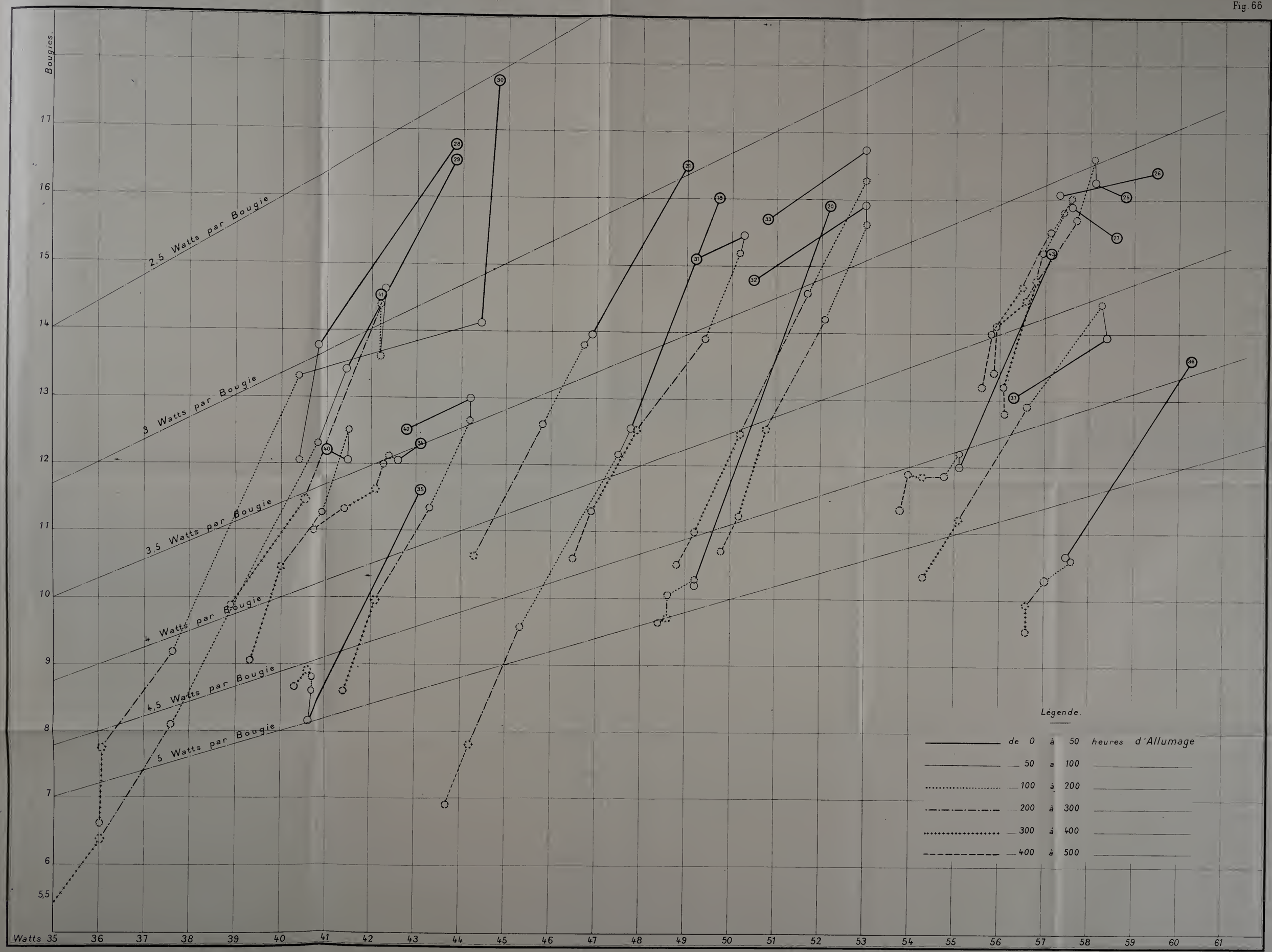
A. Larnaude, ordinaires, économiques.
Compagnie générale des lampes à incandescence, ordinaires.
Toselli, Cruto, ordinaires.
Société anonyme d'électricité, Budapesth, ordinaires.
Edison-Sturm, Vienne, ordinaires.
Very, Paris, ordinaires.
Pulsford, ordinaires.
Société Gramme, ordinaires.
Brianne-Cruto, ordinaires et économiques.
Edison Kremenesky, ordinaires.

Lampes de 220 volts.

A. Larnaude, deux filaments.
Pulsford, filament unique.
Compagnie générale des lampes à incandescence, filament unique.
Edison Sturm, Vienne, filament unique.
Toselli Cruto, filament unique.
Société anonyme d'électricité, Budapesth, deux filaments.
Société Gramme, deux filaments.
Brianne Cruto, un et deux filaments.
Edison Kremenesky, deux filaments.

Lampes à Incandescence. 16 Bougies - 110 Volts - 2ème Série
Essais de Durée.

Fig. 66

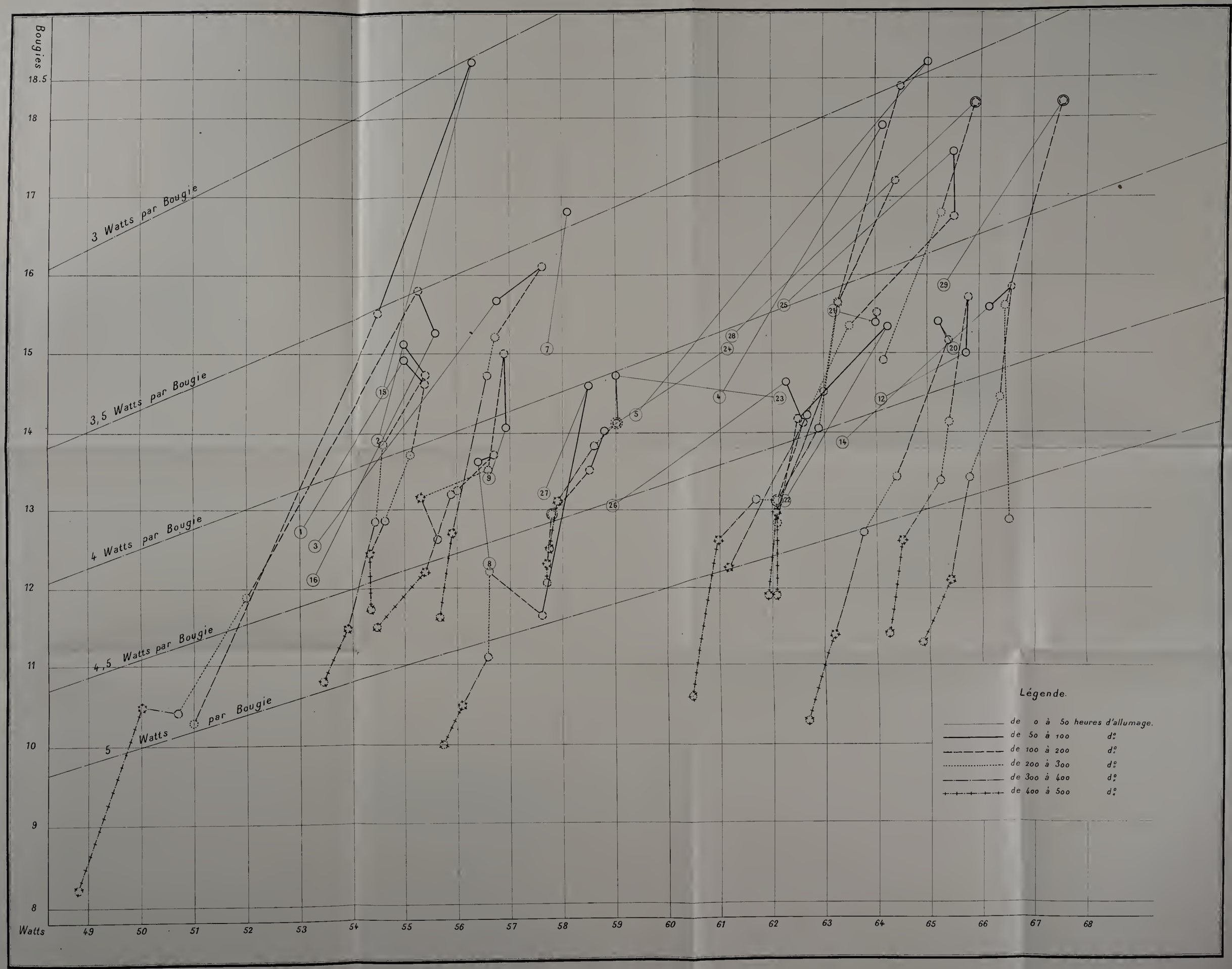


C. F. E

LAMPES À INCANDESCENCE – 220 Volts - 16 Bougies.

Essais de Durée.

Fig. 67



C. F. E.

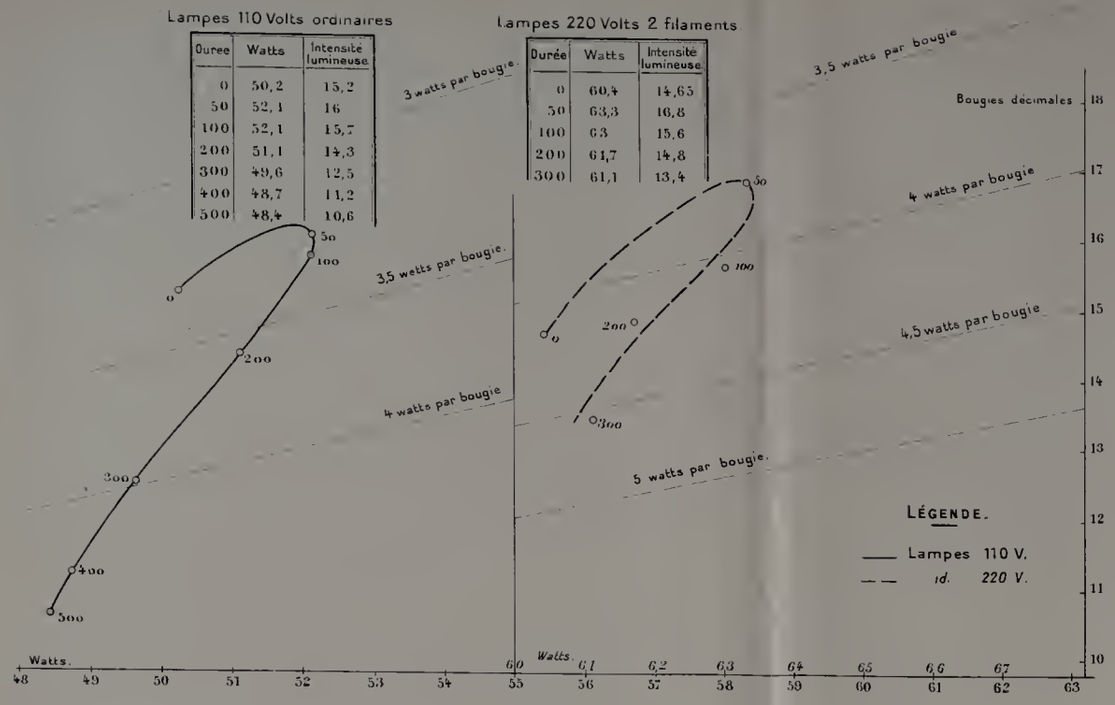
68

Lampes 110 Volts ordinaires

Durée	Watts	Intensité lumineuse
0	50,2	15,2
50	52,1	16
100	52,1	15,7
200	51,1	14,3
300	49,6	12,5
400	48,7	11,2
500	48,4	10,6

Lampes 220 Volts 2 filaments

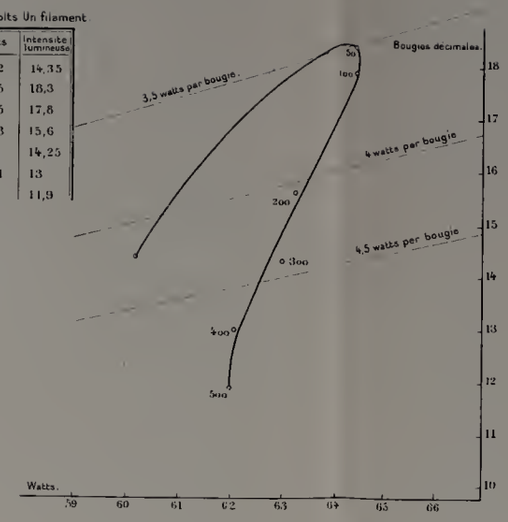
Durée	Watts	Intensité lumineuse
0	60,4	14,65
50	63,3	16,8
100	63	15,6
200	61,7	14,8
300	61,1	13,4



69

Lampes 220 Volts Un filament

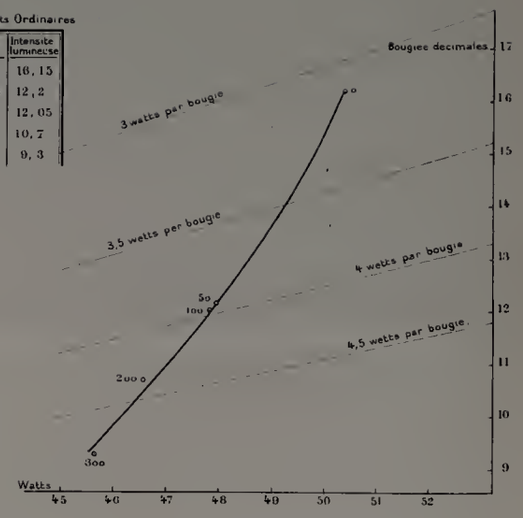
Durée Heures	Watts	Intensité lumineuse
0	60,2	14,35
50	64,5	18,3
100	64,5	17,8
200	63,3	15,6
300	63	14,25
400	62,1	13
500	62	11,9



70

Lampee 110 Volts Ordinaires

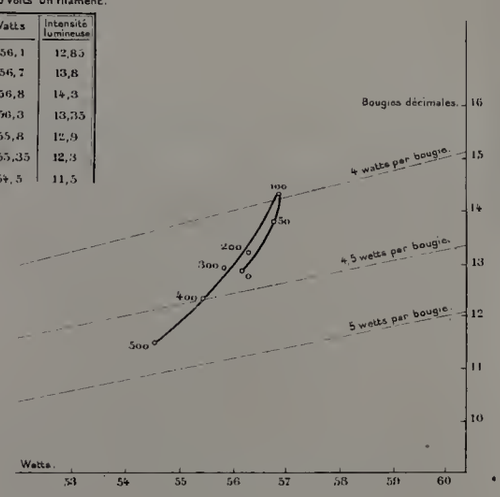
Durée Heures	Watts	Intensité lumineuse
0	50,3	16,15
50	47,95	12,2
100	47,8	12,05
200	46,6	10,7
300	45,7	9,3



71

Lampes 220 Volts Un filament.

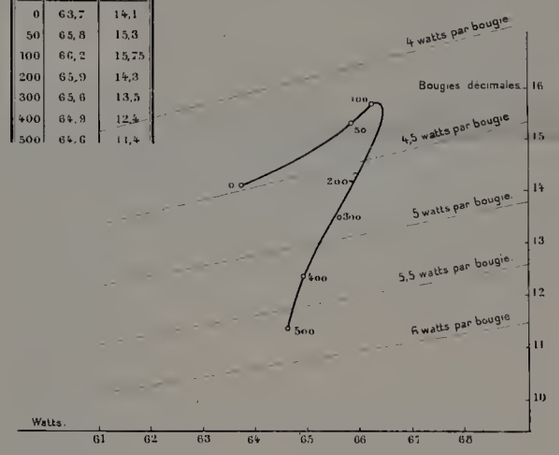
Durée Heures	Watts	Intensité lumineuse
0	56,1	12,85
50	56,7	13,8
100	56,8	14,3
200	56,3	13,35
300	55,8	12,9
400	55,35	12,3
500	54,5	11,5



72

Lampes 220 Volts. Un filament.

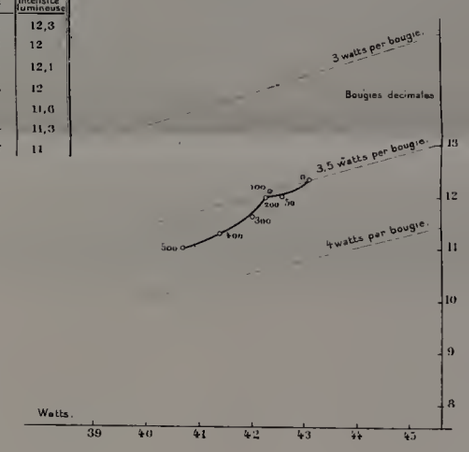
Durée Heures	Watts	Intensité lumineuse
0	63,7	14,1
50	65,8	15,3
100	66,2	15,75
200	65,9	14,3
300	65,6	13,5
400	64,9	12,4
500	64,6	11,4



74

Lampes 110 Volts ordinaires.

Durée Heures	Watts	Intensité lumineuse
0	43,1	12,3
50	42,6	12
100	42,4	12,1
200	42,3	12
300	42	11,6
400	41,4	11,3
500	40,7	11



73

Lampes 110 Volts économiques.

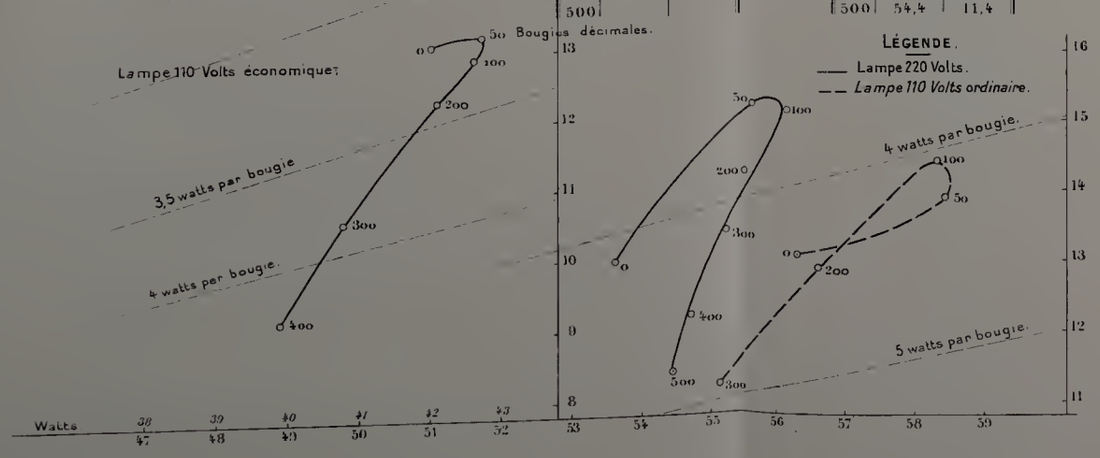
Durée Heures	Watts.	Intensité lumineuse
0	42	13,67
50	42,7	13,22
100	42,6	12,9
200	42,1	12,3
300	40,8	10,6
400	39,9	9,2

Lampe 110 Volts Ordinaire.

Durée Heures	Watts.	Intensité lumineuse
0	56,3	13,05
50	58,4	13,9
100	58,3	14,4
200	56,6	12,9
300	55,1	11,2
400	54,3	10,3
500		

Lampes 220 Volts 2 filaments.

Durée Heures	Watts	Intensité lumineuse
0	53,6	13,05
50	55,6	15,2
100	56,1	15,1
200	55,5	14,2
300	55,2	13,4
400	54,7	12,2
500	54,4	11,4



75

Lampes 110 V. Économiques.

Durée Heures	Watts	Intensité lumineuse
0	44,1	17
50	41,2	13,73
100	40,5	12,2
200	37,6	8,65
300	36,05	7

Lampe 110 V. ordinaire.

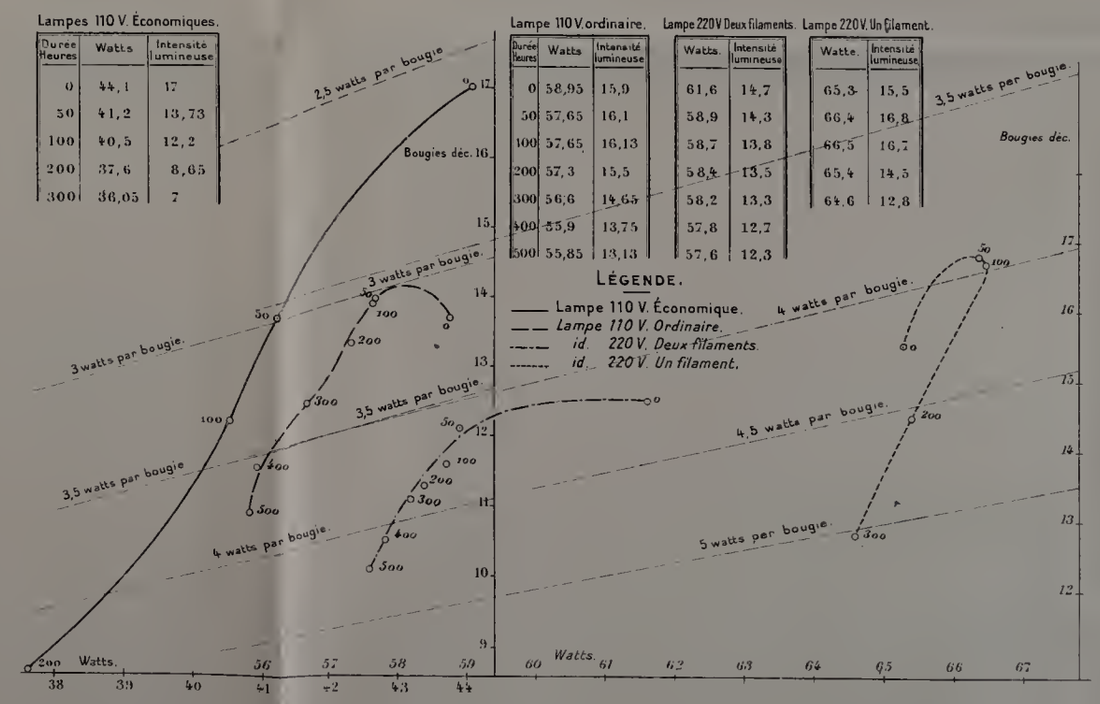
Durée Heures	Watts	Intensité lumineuse
0	58,95	15,9
50	57,65	16,1
100	57,65	16,13
200	57,3	15,5
300	56,6	14,65
400	55,9	13,75
500	55,85	13,13

Lampe 220 V Deux filaments.

Watts.	Intensité lumineuse
61,6	14,7
58,9	14,3
58,7	13,8
58,4	13,5
58,2	13,3
57,8	12,7
57,6	12,3

Lampe 220 V. Un filament.

Watts.	Intensité lumineuse
65,3	15,5
66,4	16,8
66,5	16,7
65,4	14,5
64,6	12,8



C. F. E.

TABLEAUX ET GRAPHIQUES.

LAMPE A.

110 volts. — 16 bougies.

DEUXIÈME SÉRIE.

DURÉE en HEURES.	LAMPE 31-O.			LAMPE 32-O.			LAMPE 33-O.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	49.2	15.1	3.26	50.5	14.8	3.42	51	15.7	3.27
50.....	50.3	15.4	3.26	53	15.9	3.32	53	16.7	3.16
100.. ..	50.2	15.2	3.3	53	15.6	3.4	53	16.3	3.25
200.....	49.4	13.9	3.54	52.1	14.3	3.64	51.7	14.6	3.55
300.....	47.9	12.5	3.81	50.8	12.5	4.03	50.2	12.5	4.02
400.....	46.9	11.3	4.14	50	11.2	4.46	49.2	11.0	4.47
500.....	46.5	10.6	4.4	49.8	10.7	4.65	48.8	10.5	4.65

220 volts. — 16 bougies.

DURÉE en HEURES.	LAMPE 25-D.			LAMPE 26-D.			LAMPE 27-D.			LAMPE 28-E.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	62.3	15.6	3.96	58.9	13.0	4.58	57.7	13.2	4.37	61.2	15.2	4.04
50.....	65.5	17.6	3.72	62.3	14.9	4.16	58.5	14.6	4	65.9	18.2	3.62
100.....	65.5	16.8	3.90	62.6	14.6	4.27	57.6	11.6	4.94	65.9	18.2	3.62
200.....	63.3	15.3	4.15	//	//	//	56.6	12.2	4.64	65.3	16.8	3.9
300.....	62.7	14.2	4.42	61.7	13.1	4.7	56.6	11.1	5.09	64.2	14.9	4.3
400.....	61.2	12.2	5	61	12.6	4.84	56.1	10.5	5.4	//	//	//
500.....	60.5	10.6	5.71	//	//	//	57.7	10	5.55	//	//	//

LAMPES B.

110 volts. — 16 bougies.

DURÉE en HEURES.	LAMPE 13-O.			LAMPE 14-O.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	54.7	14.5	3.8	52.5	14.7	3.6
	Douille endommagée.			Douille endommagée.		

220 volts. — 16 bougies.

DURÉE en HEURES.	LAMPE 4-O.			LAMPE 5-O.			LAMPE 6-O.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	61	14.4	4.24	59.4	14.3	4.15	//	//	//
50.....	64.1	17.9	3.6	65	18.7	3.48	//	//	//
100.....	64.4	17.2	3.74	64.6	18.4	3.5	//	//	//
200.....	63.3	15.6	4.05	63.3	15.6	4.05	//	//	//
300.....	62.9	14.0	4.47	63	14.5	4.35	//	//	//
400.....	62.1	13.1	4.74	62.1	12.9	4.8	//	//	//
500.....	62.1	11.9	5.23	61.9	11.9	5.2	//	//	//

C. F. E.

LAMPES C.

110 volts. — 16 bougies.

DEUXIÈME SÉRIE.

DURÉE EN HEURES.	LAMPE 19-O.			LAMPE 20-O.			LAMPE 21-O.		
	BOUGIES.	WATTS.	W/B.	BOUGIES.	WATTS.	W/B.	BOUGIES.	WATTS.	W/B.
0	49.7	16	3.1	52.2	15.9	3.28	49	16.5	2.96
50	47.8	12.5	3.81	49.2	10.2	4.83	46.9	13.9	3.36
100	47.5	12.1	3.9	49.2	10.2	4.83	46.7	13.8	3.38
200	45.3	9.6	4.74	48.6	10	4.8	45.8	12.6	3.65
300	44.2	7.8	5.66	48.6	9.7	4.98	44.3	10.6	4.19
400	43.7	6.9	6.45	48.4	9.6	5	"	"	"
500	"	"	"	"	"	"	"	"	"

Lampes 220 volts. — 16 bougies.

DURÉE.	LAMPE 17-D.			LAMPE 18-D.			LAMPE 19-D.		
	BOUGIES.	WATTS.	W/B.	BOUGIES.	WATTS.	W/B.	BOUGIES.	WATTS.	W/B
0	Brûlée par effluve.			Brûlée par effluve.			Brûlée par effluve.		

LAMPES D.

110 volts. — 16 bougies.

DURÉE en HEURES.	LAMPE 3-0.			LAMPE 4-0.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	55.1	13.7	4.02	55.8	12.9	3.91
188.....	55.1	13.2	4.18	54	10.5	5.14
324.....	54.3	11.9	4.57	54	10.4	5.19
444.....	53	10.05	5.3	53.8	10.6	5.08
564.....	51.7	9.1	5.6	53.4	10.05	5.3
700.....	51	8.5	6	53.4	9.9	5.4
870.....	Brûlée après 772.			52.6	9.4	5.6

220 volts. — 16 bougies.

DURÉE en HEURES.	LAMPE 7.			LAMPE 8.			LAMPE 9.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	57.7	15	3.84	55.6	12.3	4.5	56.6	13.4	4.23
50.....	58.1	16.8	3.46	56.4	13.6	4.15	56.9	14.0	4.05
100.....	//	//	//	56.7	13.7	4.13	56.9	16	3.79
200.....	//	//	//	56	13.2	4.22	56.6	13.5	4.19
300.....	//	//	//	55.6	12.6	4.42	55.9	13.2	4.22
400.....	//	//	//	55.3	13.2	4.2	55.4	12.3	4.51
500.....	//	//	//	//	//	//	54.5	11.5	4.75

LAMPES E.

110 volts. — 16 bougies.

PREMIÈRE SÉRIE.

DURÉE en HEURES.	LAMPE 5-0.			LAMPE 6-0.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	58.9	16.0	3.72	56.9	12.9	4
188.....	57.0	14.6	3.9	52.6	8.9	5.9
324.....	Brûlée			53.3	9.2	5.86
444.....	//	//	//	53.5	10	5.3
564.....	//	//	//	53.1	9.5	5.55
700.....	//	//	//	52.5	9.1	5.75
870.....	//	//	//	Brûlée.		

DEUXIÈME SÉRIE.

DURÉE.	LAMPE 43-0.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	57.2	15.2	3.76
50.....	55.1	12	4.6
100.....	55.1	12.2	4.5
200.....	54.8	11.8	4.62
300.....	54.3	11.8	4.57
400.....	54	11.9	4.51
500.....	53.8	11.3	4.75

220 volts. — 16 bougies.

DURÉE en HEURES.	LAMPE 12.			LAMPE 13.			LAMPE 14.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	64.1	14.4	4.45	64.2	13.6	4.70	63.4	13.8	4.58
50.....	65.5	15	4.35	66.5	15.5	4.27	66.2	15.6	4.25
100.....	65.8	15.7	4.18	67	15.7	4.25	66.6	15.8	4.2
200.....	65.4	14.1	4.64	66.5	14.4	4.61	66.4	14.4	4.59
300.....	65.4	13.5	4.85	Brûlée.			65.8	13.4	4.91
400.....	64.5	12.6	5.11	//	//	//	65.4	12.1	5.4
500.....	64.4	11.4	5.64	//	//	//	64.9	11.3	5.75

LAMPES F.

110 volts. — 16 bougies.

PREMIÈRE SÉRIE.

DURÉE.	LAMPE 7-O.			LAMPE 8-O.		
	WATTS	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	54.9	14.7	3.71	5.18	13.3	4.21
50.....	52.5	11.3	4.66	50.4	10.1	4.99
100.....	52.2	9.8	5.35	Brûlée.		
200.....	51.4	9	5.65	//	//	//
300.....	50.4	8	6.25	//	//	//
400.....	49.2	7.5	6.5	//	//	//
500.....	47.9	6.2	7.65	//	//	//

220 volts. — 16 bougies.

DUREE.	LAMPE 15-D.			LAMPE 16-D.			VOLTS.
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	
0.....	54.5	14.5	3.12	53.2	12.1	4.4	210
50.....	56.3	18.7	3	55.6	15.6	3.65	220
100.....	54.5	15.5	3.45	55.2	15.8	3.50	//
200.....	51	10.3	4.95	52	11.9	4.37	//
300.....	Brûlée.			50.7	10.4	4.85	//
400.....	//	//	//	50	10.5	4.75	//
500.....	//	//	//	48.8	8.2	5.9	//

LAMPES G.

110 volts. — 16 bougies.

PREMIÈRE SÉRIE.

DURÉE.	LAMPE 9-O.			LAMPE 10-O.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	63.9	13.7	4.65	56.7	13.1	4.31
188.....	66.8	14.2	4.68	55.2	12.3	4.45
384.....	66.3	13.1	4.98	55.0	12.3	4.43
444.....	65.5	13	5.02	54.5	12.1	4.35
564.....	64.8	11.6	5.6	53.5	11.1	4.8
700.....	64.1	11.2	5.7	52.6	10.4	5.05
870.....	62.7	9.7	6.45	50.9	8.9	5.7

220 vo'ts. — 16 bougies.

DURÉE.	LAMPE 10-O.			LAMPE 11-O.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	Brûlée par effluve.			54.9	15	3.65
				Brûlée par effluve.		

DEUXIÈME SÉRIE.

DURÉE.	LAMPE 38-O.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	60.3	13.6	4.44
50.....	57.5	10.6	5.4
100.....	57.6	10.6	5.4
200.....	57	10.3	5.55
300.....	56.6	9.9	5.71
400.....	56.6	9.5	5.92
500.....	//	//	//

LAMPES H.

110 volts. — 16 bougies.

PREMIÈRE SÉRIE.

DURÉE.	LAMPE 1 0.			LAMPE 2-0.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	52.8	14.25	3.7	57.1	15	3.8
188.....	52.7	12.75	4.13	57.1	13.6	4.2
324.....	51.8	11.05	4.68	56	12	4.66
444.....	51.2	10.72	4.76	55.2	11.6	4.75
564.....	50.3	9.55	5.25	54.3	10.4	5.2
700.....	49.8	9.05	5.5	53.6	9.9	5.4
870.....	48.9	8.30	5.88	52.5	8.5	6.15

DEUXIÈME SÉRIE.

DURÉE.	LAMPE 37-0.			LAMPE 40 E.			LAMPE 41-E.			LAMPE 42-E.		
	WATTS.	BOUGIE	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	56.3	13.05	4.3	41	12.2	42.2	3.36	14.5	2.9	42.8	12.5	3.43
50.....	58.4	13.9	4.2	41.5	12.05	42.3	3.44	14.6	2.8	44.2	13	3.44
100.....	58.3	14.4	4.04	51.5	12.5	42.1	3.32	13.6	3.1	44.2	12.6	3.5
200.....	56.6	12.9	4.4	40.9	11.25	40.5	3.64	14.4	2.93	43.3	11.3	3.82
300.....	55.1	11.2	4.9	40	10.4	38.9	3.82	11.4	4.54	42	9.9	4.23
400.....	54.3	10.3	5.25	39.3	9.1	//	4.3	9.9	3.94	41.4	8.6	4.81
500.....	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//

16 bougies. — 220 volts.

DURÉE.	LAMPE 1-D.			LAMPE 2-D.			LAMPE 3-D.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	53	12.7	4.7	54.5	13.9	3.92	53.3	12.55	4.25
50.....	55	14.9	3.7	55	15.1	3.64	56.8	15.7	3.62
100.....	55.3	14.6	3.78	55.4	14.7	3.76	57.6	16.1	3.58
200.....	55.1	13.7	4.01	54.6	13.8	3.95	56.7	15.2	3.73
300.....	54.7	12.8	4.25	54.4	12.8	4.23	56.5	14.7	3.84
400.....	54.3	12.4	4.36	53.9	11.5	4.7	55.9	12.7	4.4
500.....	54.3	41.7	3.63	53.4	10.8	4.95	55.6	11.6	4.8

LAMPES I.

110 volts. — 16 bougies.

PREMIÈRE SÉRIE.

DURÉE D'ALLUMAGE EN HEURES.	LAMPE 11-O.			LAMPE 12-O.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0	53.9	14.5	3.72	54.1	14.9	3.62
188	52.5	14.5	3.62	54.1	15.0	3.59
324	53	13.4	3.97	53.3	13.7	3.88
444	52.6	13.4	3.92	52.5	13.2	3.97
564	52	12.3	4.22	Brûlée après.		
700	51.4	12.1	4.25	//	//	//
870	50.3	11	4.27	//	//	//

DEUXIÈME SÉRIE.

DURÉE D'ALLUMAGE EN HEURES.	LAMPE 34-O.			LAMPE 35-O.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0	43.1	12.3	3.50	43.1	11.6	3.72
50	42.6	12.0	3.51	40.6	8.1	5
100	42.4	12.1	3.50	40.7	8.5	4.75
200	42.3	12	3.52	40.7	8.8	4.64
300	42	11.6	3.61	40.6	8.9	4.56
400	41.4	11.3	3.66	40.3	8.65	4.65
500	40.7	11.0	3.70	//	//	//

LAMPES J.

110 volts. — 16 bougies.

DEUXIÈME SÉRIE.

DURÉE.	LAMPE 26-0.			LAMPE 26-0.			LAMPE 27-0.			LAMPE 28-E.			LAMPE 29-E.			LAMPE 30-E.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	58.8	16	3.66	59.5	16.4	3.63	58.6	15.4	3.79	43.8	16.8	2.61	43.8	16.5	2.65	44.8	17.7	2.53
50.....	58.1	16.3	3.58	57.3	16.1	3.57	57.6	15.9	3.63	40.8	13.7	2.97	41.4	13.4	2.95	41.4	14.1	2.94
100.....	58.1	16.6	3.52	57.4	15.8	3.63	57.6	16	3.6	40.4	12	3.23	40.8	12.3	3.3	40.4	13.3	3.04
200.....	57.7	15.7	3.68	57	15.3	3.72	57.2	15.5	3.7	//	//	//	37.6	8.1	4.65	37.6	9.2	4.1
300.....	56.8	14.8	3.79	56.6	14.5	3.9	56.5	14.7	3.85	//	//	//	36	6.3	5.67	36.1	7.7	4.66
400.....	56.1	13.2	4.25	55.9	14.1	3.97	55.7	14	3.98	//	//	//	35	5.4	6.5	36	6.6	5.45
500.....	56.1	12.8	4.4	55.9	13.4	4.15	55.6	13.2	4.22	//	//	//	//	//	//	//	//	//

220 volts. — 16 bougies.

DURÉE.	LAMPE 20-0.			LAMPE 21-0.			LAMPE 22-0.			LAMPE 23-D.			LAMPE 24-D.			LAMPE 29-0.		
	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.	WATTS.	BOUGIES.	W/B.
0.....	65.4	15.2	4.3	63.2	15.6	4.05	62.3	13.1	4.75	62.1	14.4	4.37	61.1	15.0	4.07	65.3	15.8	4.12
50.....	65.2	15.4	4.2	64	15.4	4.15	64.2	15.3	4.2	59	14.7	4.0	58.8	14.0	4.2	67.6	18.2	3.71
100.....	65.4	15.2	4.3	64	15.4	4.15	62.5	13.8	4.52	59	14.1	4.2	58.5	13.5	4.33	67.6	18.2	3.71
200.....	64.4	13.4	4.8	//	//	//	62.1	12.6	4.9	59	14.1	4.2	57.8	12.9	4.45	66.5	15.6	4.26
300.....	63.8	12.7	5.0	//	//	//	//	//	//	58.6	13.8	4.23	57.8	12.9	4.45	65.5	12.9	5.08
400.....	63.3	11.4	5.5	//	//	//	//	//	//	57.9	13.1	4.4	57.7	12.3	4.7	//	//	//
500.....	62.7	10.3	6.1	//	//	//	//	//	//	57.5	12.5	4.6	57.7	12.1	4.79	//	//	//

CHAPITRE III.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA LAMPE NERNST [1].

I. LAMPE À ALLUMAGE NON AUTOMATIQUE.

Les lampes essayées étaient toutes du même type et portaient comme marque caractéristique : « 220 volts, 25 bougies, 40 watts ».

Elles étaient montées avec des douilles à vis, et sur ces douilles pouvaient s'adapter de petites tulipes de verre. Ces enveloppes étaient les unes transparentes, les autres dépolies. Elles avaient toutes la même forme (d'une sphère coupée, ouverte par le haut) et ressemblaient à des coupes.

Les expériences ont été faites, en général, sur des lampes dont le filament était librement à l'air.

Le filament est plan et a la forme d'une demi-circonférence un peu surhaussée. Les soudures sont faites avec deux fils fins métalliques, au moyen d'un empâtement, d'une sorte de gouttelette qui paraît être de la même matière que le filament. Les deux fils métalliques, fins et courts, sont soudés à deux tiges de laiton de 1 millimètre environ de diamètre, réunies entre elles par une barrette en matière blanche isolante qui les encastre. Le filament ainsi monté est entièrement indépendant et peut être facilement remplacé dans une lampe usée.

Les deux tiges de laiton s'engagent, en effet, dans deux tubes de même métal portés par la douille. L'un d'entre eux communique directement avec la paillette centrale; l'autre est relié au contact latéral, à la vis, par l'intermédiaire de la résistance de réglage. Cette résistance montée ainsi en série avec la lampe, et dont le rôle est étudié plus loin, est formée d'un fil métallique très fin (fil de fer, paraît-il), enroulé sur un petit tube de porcelaine, et est enfermée dans une ampoule de verre scellée.

Cette ampoule, de dimensions très petites, est dissimulée dans le fond de la coupe ou dans un cylindre de verre dépoli, qui s'adapte sur la douille même en laissant le filament entièrement en dehors.

Les coupes, comme il a été dit tout à l'heure, sont sphériques, de forme et franchement ouvertes (cône de 150 degrés d'ouverture environ), afin de permettre l'allumage du filament et le libre passage de la lumière directe, mais les bords sont assez élevés pour protéger le filament d'un léger choc et le mettre à l'abri des courants d'air. Elles s'adaptent directement aux douilles et peuvent y être fixées par un point de soudure.

La figure 76 représente la lampe Nernst à allumage non automatique telle qu'elle figurait à l'Exposition.

[1] Étude faite au Laboratoire central d'électricité par MM. Laporte et Léonard.

1° Étude des constantes de la lampe quand on fait varier la différence de potentiel. — Des différences de potentiel croissantes ont été établies successivement aux bornes de la lampe, et on mesurait simultanément :

La différence de potentiel à la douille;

L'intensité du courant;

L'intensité lumineuse horizontale dans la direction perpendiculaire au plan du filament.

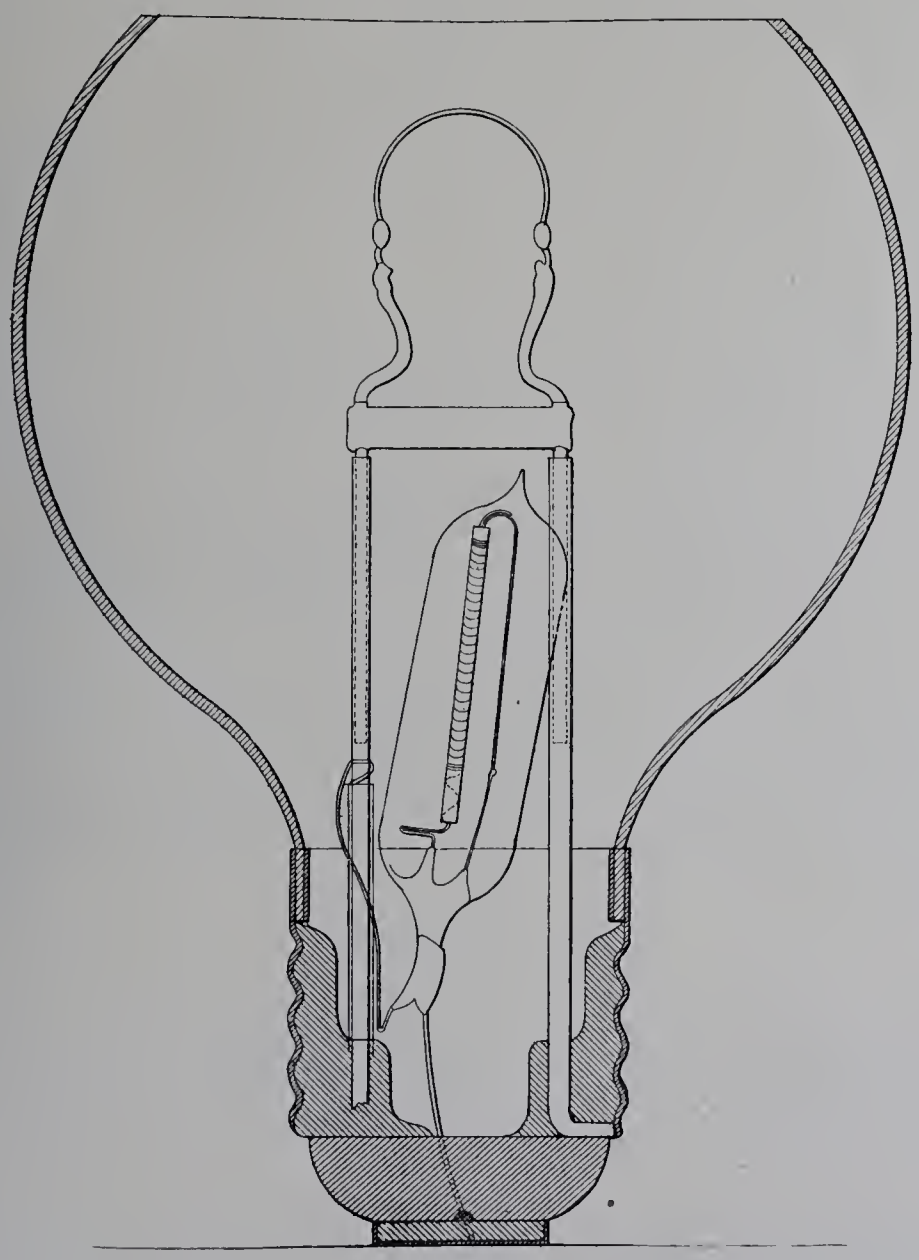


Fig. 76.

Ces données ont permis de calculer :

La puissance dépensée dans la lampe, la dépense spécifique et la résistance totale.

Dans une expérience préliminaire sur la résistance de réglage, on avait mesuré les valeurs prises par l'intensité du courant pour des différences de potentiel croissantes. On avait, pour cet essai, remplacé le filament par un fil de cuivre de résistance négli-

IMPRIMERIE NATIONALE

geable. Les résultats obtenus sont représentés par la courbe de la figure 77. (Voir aussi le tableau II, à l'annexe de ce chapitre.)

En se reportant à cette expérience, on peut déterminer dans la première courbe, pour chaque régime étudié, la différence de potentiel aux extrémités de la résistance de réglage et, par suite, celle qui est utilisée pour le filament.

L'inspection des résultats obtenus et des courbes qui les traduisent (fig. 78) montrent que l'intensité du courant, l'intensité lumineuse et la résistance totale de la lampe ne varient pas suivant une loi simple avec la différence de potentiel. Des anomalies très visibles correspondent aux différences de potentiel un peu supérieures à la tension normale de la lampe.

L'accroissement de l'intensité du courant et de l'intensité lumineuse avec la différence de potentiel présente un temps d'arrêt très marqué vers 240 volts, puis, vers 250 volts, l'accroissement reprend nettement.

L'étude de la résistance de réglage explique facilement ce phénomène. Il suffit d'un coup d'œil jeté sur la courbe de la figure 77 pour remarquer l'accroissement brusque de la résistance pour une intensité déterminée. Quand le courant, dans la lampe, atteint le voisinage de cette valeur, l'accroissement de la différence de potentiel est presque entièrement absorbé par l'augmentation de la résistance. L'intensité n'augmente que très lentement. Il en est de même de l'intensité lumineuse.

Quelle est la raison d'être de cette résistance de réglage? Il est facile de calculer, comme il a été fait dans le tableau précédent, la différence de potentiel aux bornes du filament pour les différentes tensions appliquées à la lampe, et l'on remarque que, dans le voisinage du point de fonctionnement, en ne tenant pas compte de quelques erreurs accidentelles, elle reste constante dans des limites assez larges; bien plus, pour les grandes intensités, la différence de potentiel paraît avoir une tendance à baisser. On peut donc représenter la loi qui relie les volts aux bornes du filament, l'intensité et la résistance par :

$$RI = E = \text{Constante}.$$

Pour trois expériences distinctes sur trois lampes, expériences dans lesquelles on mesurait directement le nombre de volts aux bornes du filament, on a trouvé, en effet, des résultats semblables très concordants. (Dans le tableau III, on trouvera un de ces essais.)

Si donc on employait une lampe formée seulement d'un filament semblable comme une lampe à filament de carbone, le régime de fonctionnement serait très instable ou la dépense spécifique serait très forte. Il faut, en effet, pour améliorer le rendement, choisir une tension de fonctionnement aussi élevée que possible, mais si, par suite des variations de différence de potentiel, impossibles à éviter dans une distribution d'énergie, la tension atteint la valeur limite, l'intensité augmentera de plus en plus et la lampe brûlerait infailliblement. Si on veut être à l'abri de ce risque, il faut abaisser la valeur de la tension de fonctionnement et le rendement lumineux deviendra insuffisant.

L'effet de réglage de la résistance ajoutée en série s'explique de lui-même; l'accroissement très rapide de la résistance atteint et même dépasse la diminution correspondante de la résistance du filament. Elle maintient ainsi, entre des limites aussi larges que possible de la différence de potentiel, l'intensité à une valeur presque constante.

La densité du courant dans le fil métallique a été calculée afin que l'augmentation brusque de résistance ait lieu pour un courant un peu supérieur à celui qui a été choisi comme le plus favorable, donnant un bon rendement et une durée suffisante à la vie de la lampe.

DOUILLE N° 1.

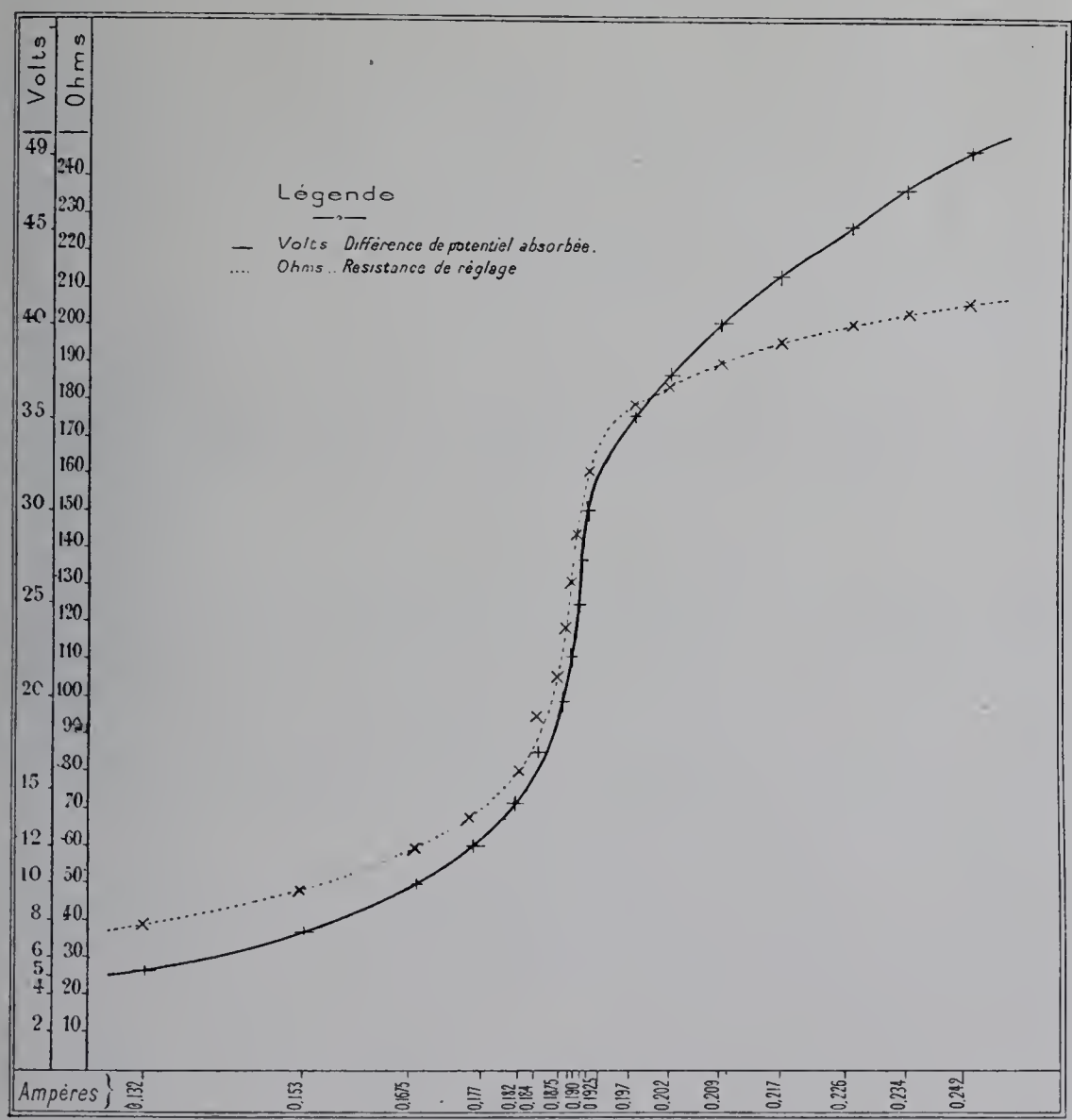


Fig. 77.

La grandeur de la résistance a été déterminée de manière à rendre l'intensité constante à 6 p. 100 près, quand la différence de potentiel varie de 225 à 240 volts (Tableau II.)

De plus, même si la différence de potentiel dépasse cette limite de 10 p. 100 supé-

C. F. E.

rieure à la tension normale, le régime de fonctionnement restera stable, et si la vie de la lampe est abrégée pour avoir été trop poussée, elle n'est pas pour cela immanquablement brûlée, comme cela aurait eu lieu si la tension avait atteint la valeur limite, quand la lampe fonctionne sans protection.

La consommation de puissance dans la résistance de réglage est faible à la tension normale : 5 à 6 p. 100 à 220 volts; mais elle augmente naturellement avec l'élévation de la différence de potentiel et absorbe jusqu'à 240 volts, presque la totalité de l'accroissement de la puissance dépensée; à 230 volts, la proportion est 8 à 9, et à 240 : 12 à 13 p. 100. La dépense spécifique de la lampe reste ainsi pratiquement constante entre 220 et 240 volts, et l'on a tout intérêt à la faire fonctionner à la tension normale afin d'augmenter la durée.

L'intensité du courant et, par suite, l'intensité lumineuse de la lampe dépendent des températures du filament et de la résistance de réglage. En effet, toute cause qui diminue la température du filament fait augmenter sa résistance, et il en résulte une diminution de l'intensité du courant et de l'intensité lumineuse. Sur la résistance de réglage, la même cause aurait un effet inverse.

Un déplacement d'air rapide, du vent, un courant d'air, ont une action très sensible et font baisser la lampe.

On peut même, en soufflant sur la lampe, la refroidir assez pour l'éteindre; de là l'utilité des coupes de verre qui protègent les lampes de ces variations. La résistance de réglage est à l'abri de ces causes passagères de refroidissement par son ampoule de verre.

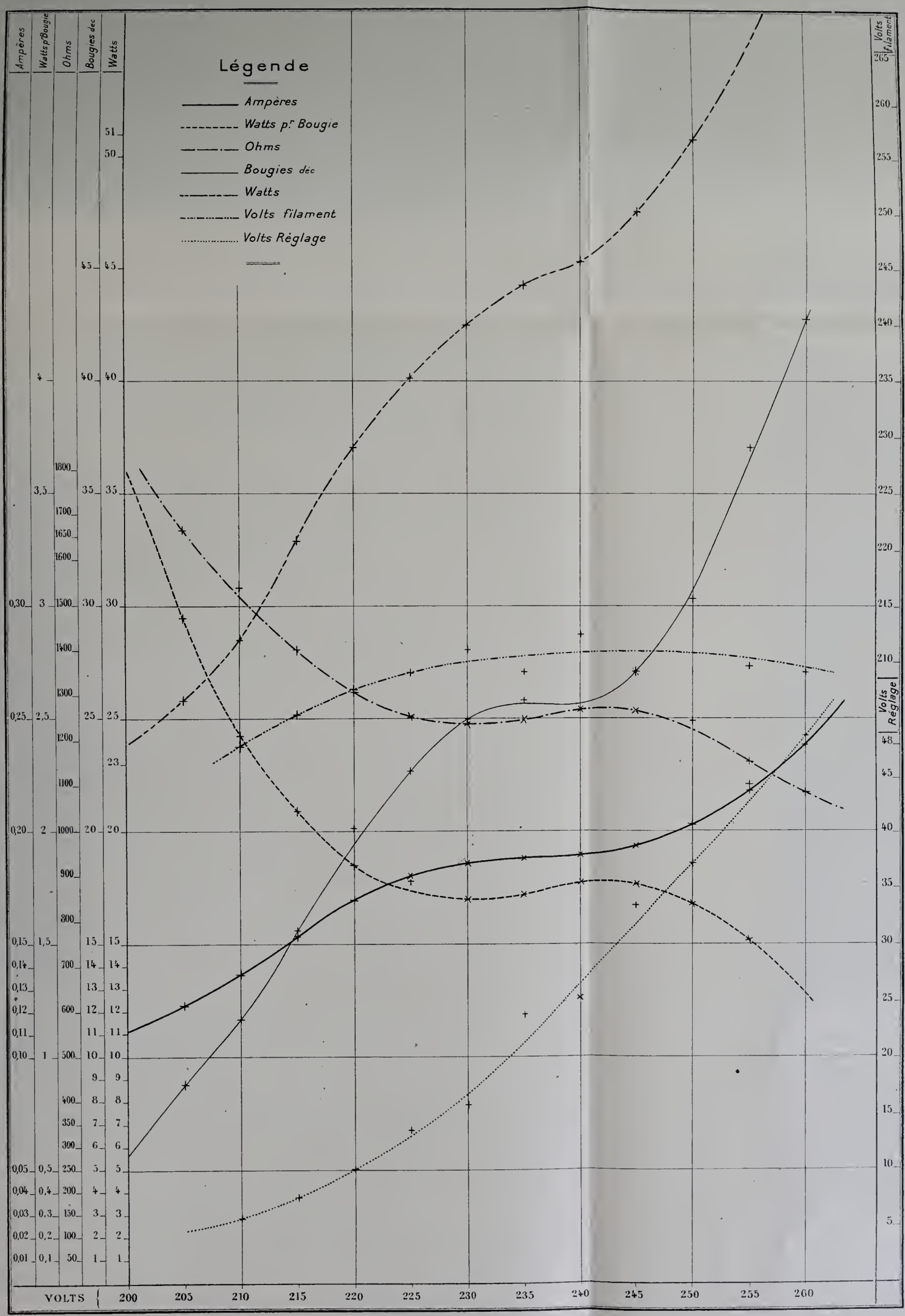
D'autres causes plus constantes comme action ont une influence sur la résistance de réglage. La température de la douille n'est pas la même, par exemple, pour une lampe placée verticalement quand le filament est en haut et la douille en bas ou quand, inversement, le filament est en bas et la douille en haut. Dans ce dernier cas, en effet, l'air échauffé au contact du filament rencontre la douille dans sa marche ascendante et élève très sensiblement sa température de régime. Il en résulte une diminution d'intensité lumineuse et de l'intensité du courant.

L'action est naturellement plus marquée quand la coupe de verre guide le courant d'air ascendant, le dirige sur la douille et concentre ainsi en quelque sorte la chaleur.

Les résultats du tableau suivant se rapportent à trois essais sur la même lampe, la tension étant maintenue à 220 volts

		LAMPE PLACÉE VERTICALEMENT.		RAPPORT.
		FILAMENT EN HAUT.	FILAMENT EN BAS.	$\frac{\text{Position 1}}{\text{Position 2}}$
		1	2	
Lampe seule.	Intensité lumineuse. .	26.2	24.2	0.93
	Intensité.	0.198	0.192	0.97
Lampe avec une coupe transparente.	Intensité lumineuse. .	23.2	20.3	0.87
	Intensité.	0.197	0.187	0.95
Lampe avec une coupe dépolie.	Intensité lumineuse.	16.7	15	0.90
	Intensité.	0.197	0.19	0.965

Fig. 78


Légende
Ampères
Watts p.r Bougie
Ohms
Bougies déc
Watts
Volts filament
Volts Réglage
Ampères
Watts p.r Bougie
Ohms
Bougies déc
Watts
Volts filament
Volts Réglage
VOLTS
200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260

C. F. E

On peut expliquer par la même cause les ruptures du filament que l'on observe quelquefois au moment de l'allumage de la lampe. Si le filament est chauffé trop vivement, le courant passe brusquement avec une grande intensité, la résistance de réglage étant encore froide. L'éclat, très grand un instant, reprend presque immédiatement sa valeur normale, mais cet à-coup très rapide suffit parfois à amener la fin du filament.

2° Étude de la répartition lumineuse. — *I. Répartition dans le plan horizontal.* — La lampe ayant été placée sur le banc photométrique verticalement, la douille en bas, le filament en haut, l'intensité lumineuse horizontale a été mesurée de 30 en 30 degrés, en faisant tourner la lampe autour de son axe.

Les résultats sont consignés dans le tableau IV (annexes) et par la courbe représentés figure 79.

Le maximum d'intensité lumineuse a lieu, comme il fallait s'y attendre, pour la direction perpendiculaire au plan du filament. L'émission de la lumière paraît suivre la loi dite du *cosinus,* et l'intensité lumineuse dans une direction paraît être proportionnelle à la longueur de la projection du filament sur le plan vertical perpendiculaire à cette direction.

Dans le plan du filament, l'intensité lumineuse horizontale n'est due qu'à la lumière émise par la moitié du filament placée en avant, la partie postérieure se trouvant masquée derrière la première. Une ombre très visible est donc portée par le filament dans son plan. On a constaté au photomètre que l'intensité lumineuse horizontale dans l'ombre était à peu près la moitié de l'intensité lumineuse dans une direction très voisine, mais telle que la partie du filament placée en arrière ne soit pas cachée. Dans ce dernier cas, la projection, l'arc incandescent est environ le double de sa hauteur, longueur apparente du filament dans le premier cas. La matière du filament, à la haute température de la lampe, se comporte donc comme un corps opaque et arrête les rayons émis par elle. L'ombre et la pénombre du filament correspondent à un angle d'environ 10 degrés.

Si on trace la courbe polaire en portant suivant les différentes directions des longueurs proportionnelles aux intensités lumineuses correspondantes, on obtient une courbe arrondie légèrement aplatie avec une profonde entaille causée, comme nous l'avons vu, par l'ombre du filament.

La répartition lumineuse horizontale de la lampe munie de la coupe claire ne subit que peu de modifications. Les intensités sont moindres, par suite des réflexions et diffusions. L'ombre portée par le filament est presque aussi nette qu'avec la lampe seule.

Avec la coupe en verre dépoli, les variations d'intensités lumineuses sont moins accentuées et, d'autre part, l'ombre n'est plus sensible.

En calculant, d'après ces données (tableau IV), les intensités moyennes horizontales, on trouve les résultats suivants qui se rapportent à la même lampe fonctionnant dans des conditions semblables.

	FILAMENT NU.	AVEC COUPE TRANSPARENTE.	AVEC COUPE DÉPOLIE.
	—	—	—
Intensité horizontale maxima	26.3	23	16
Intensité horizontale minima	10.4	10	12.5
Intensité horizontale moyenne	23.1	19.45	14.5
Rapport : $\frac{\text{Intensité minima}}{\text{Intensité maxima}}$	0.40	0.425	0.78
Rapport : $\frac{\text{Intensité moyenne}}{\text{Intensité maxima}}$	0.88	0.85	0.91

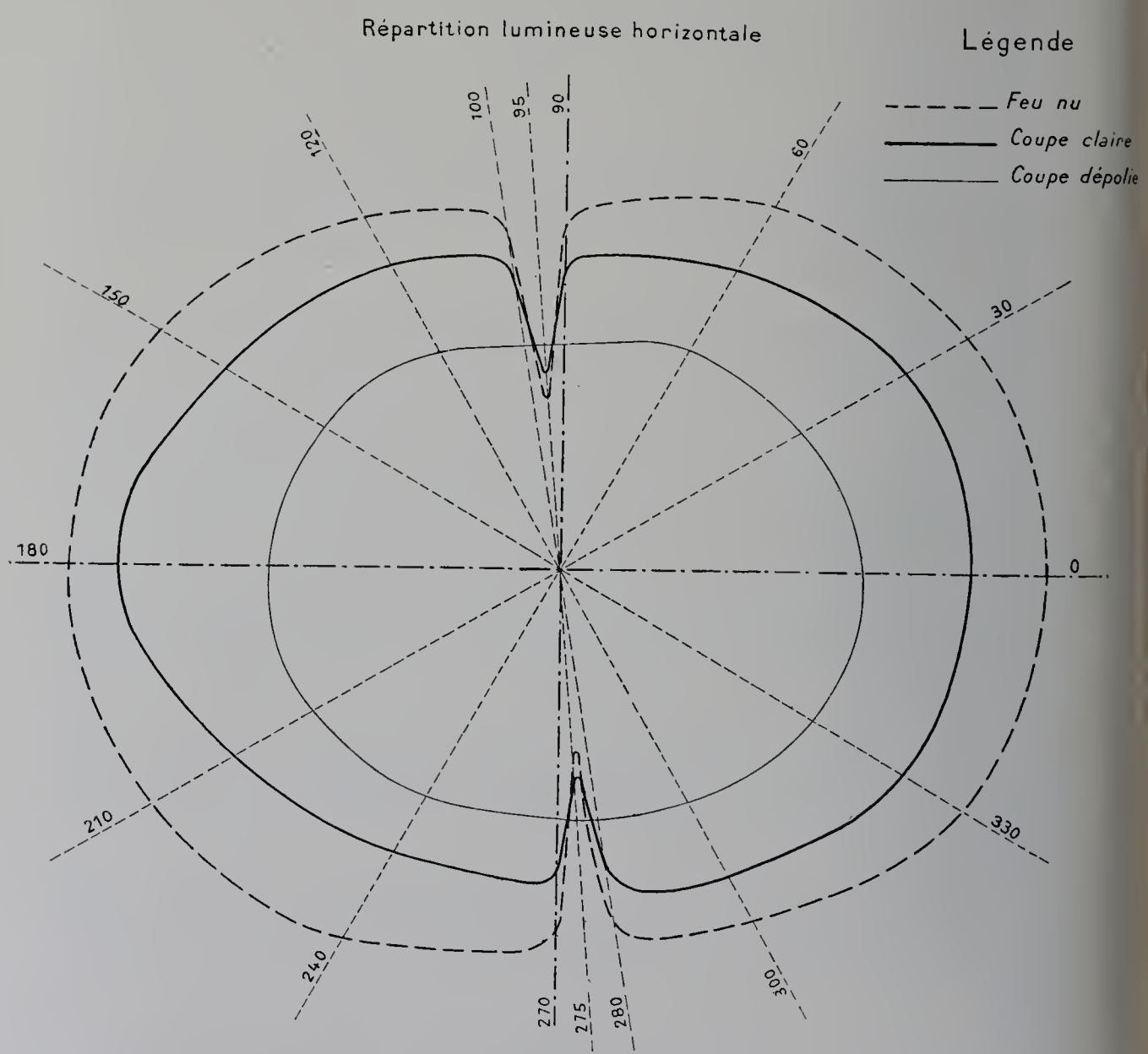


Fig. 79.

Il est donc facile de passer de l'intensité *maxima* à l'intensité moyenne horizontale et *vice versa*, la forme du filament restant la même.

On peut comparer l'intensité horizontale obtenue dans les trois essais précédents, la lampe étant restée la même ; mais on ne peut en déduire l'absorption des différentes coupes, la répartition verticale étant profondément modifiée, comme nous le verrons plus loin.

On voit que la coupe transparente diminue de 15 p. 100 environ l'intensité horizontale moyenne, et la coupe dépolie de 37 p. 100.

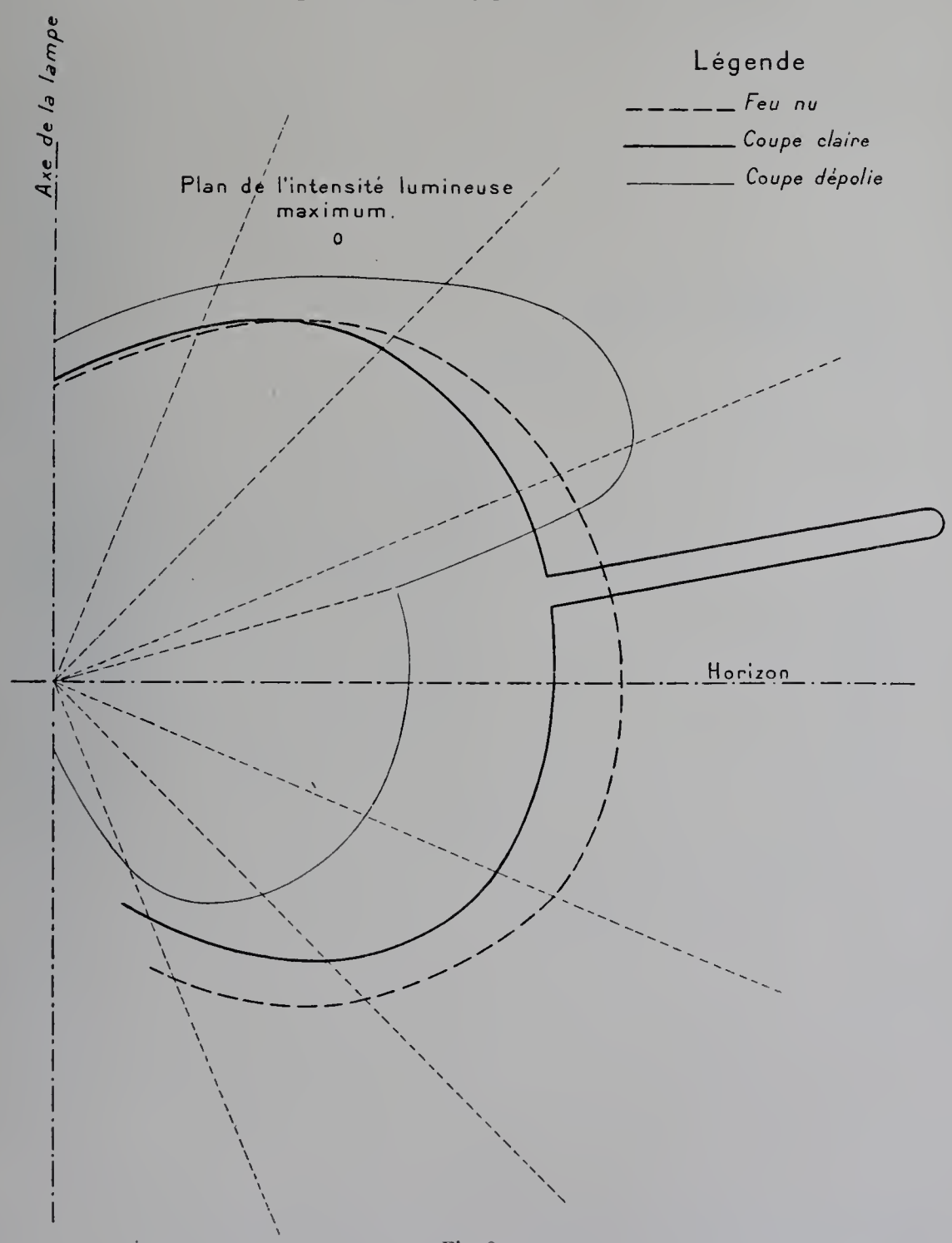


Fig. 80.

II. Répartition dans le plan vertical. — La lampe était placée à une extrémité du banc photométrique sur un support pouvant tourner autour d'un axe horizontal, amené par

un réglage préalable en coïncidence avec le centre du filament. En modifiant successivement l'inclinaison, on pouvait mesurer l'intensité lumineuse dans les différentes directions d'un plan vertical connu. Il a été fait trois séries d'expériences dans trois plans différents (fig. 80, 81 et 82).

1° Plan vertical perpendiculaire au plan du filament.

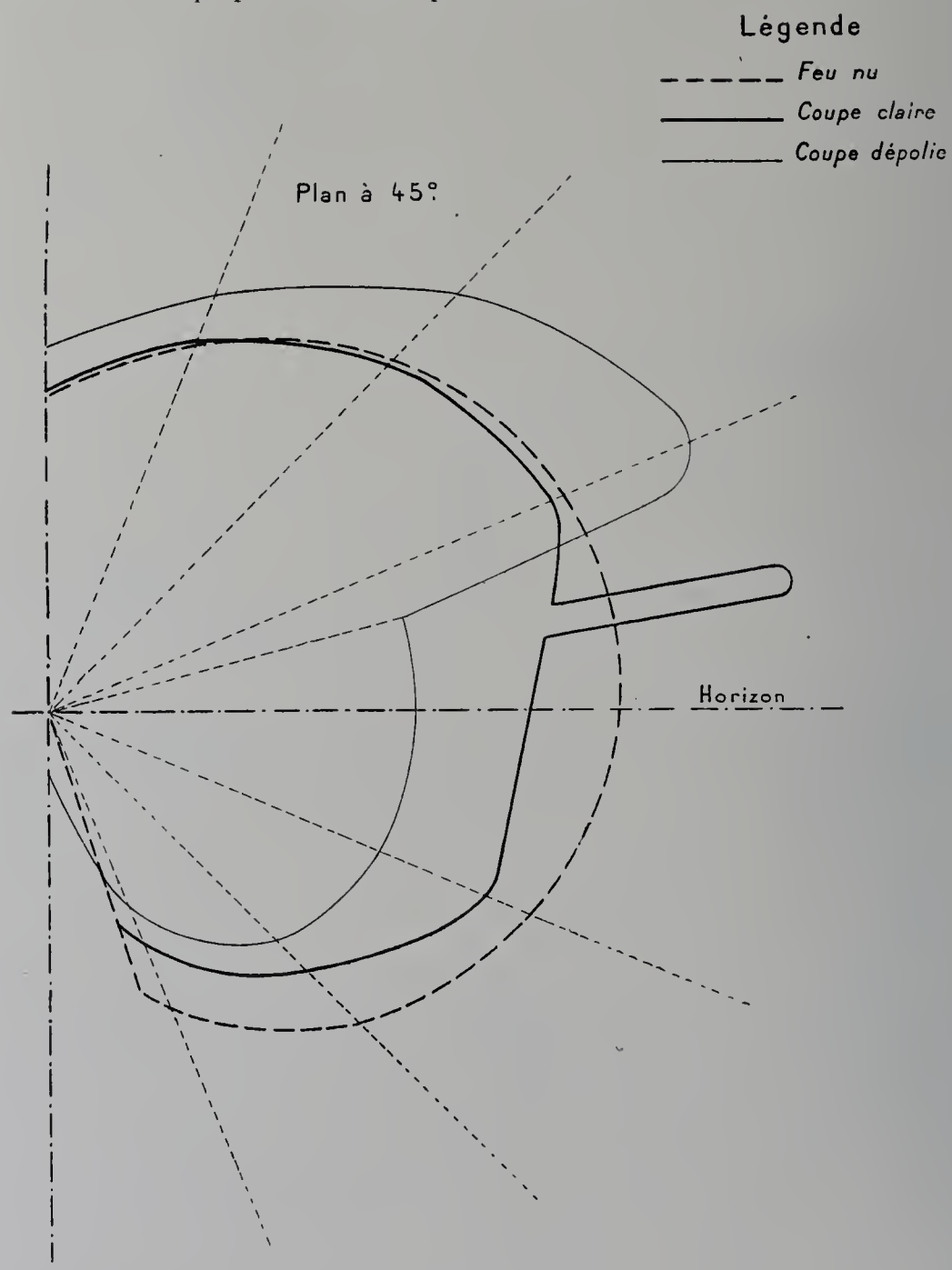


Fig. 81.

2° Plan vertical faisant un angle de 45 degrés avec le plan du filament.

3° Plan vertical faisant un angle de 5 degrés environ avec plan filament.

Enfin une quatrième série a été faite avec la lampe à filament, nu dans le plan du filament (tableau V).

Cette étude a été faite sur la même lampe fonctionnant dans les mêmes conditions, la lampe ayant son filament librement à l'air ou protégé par une coupe transparente ou dépolie.

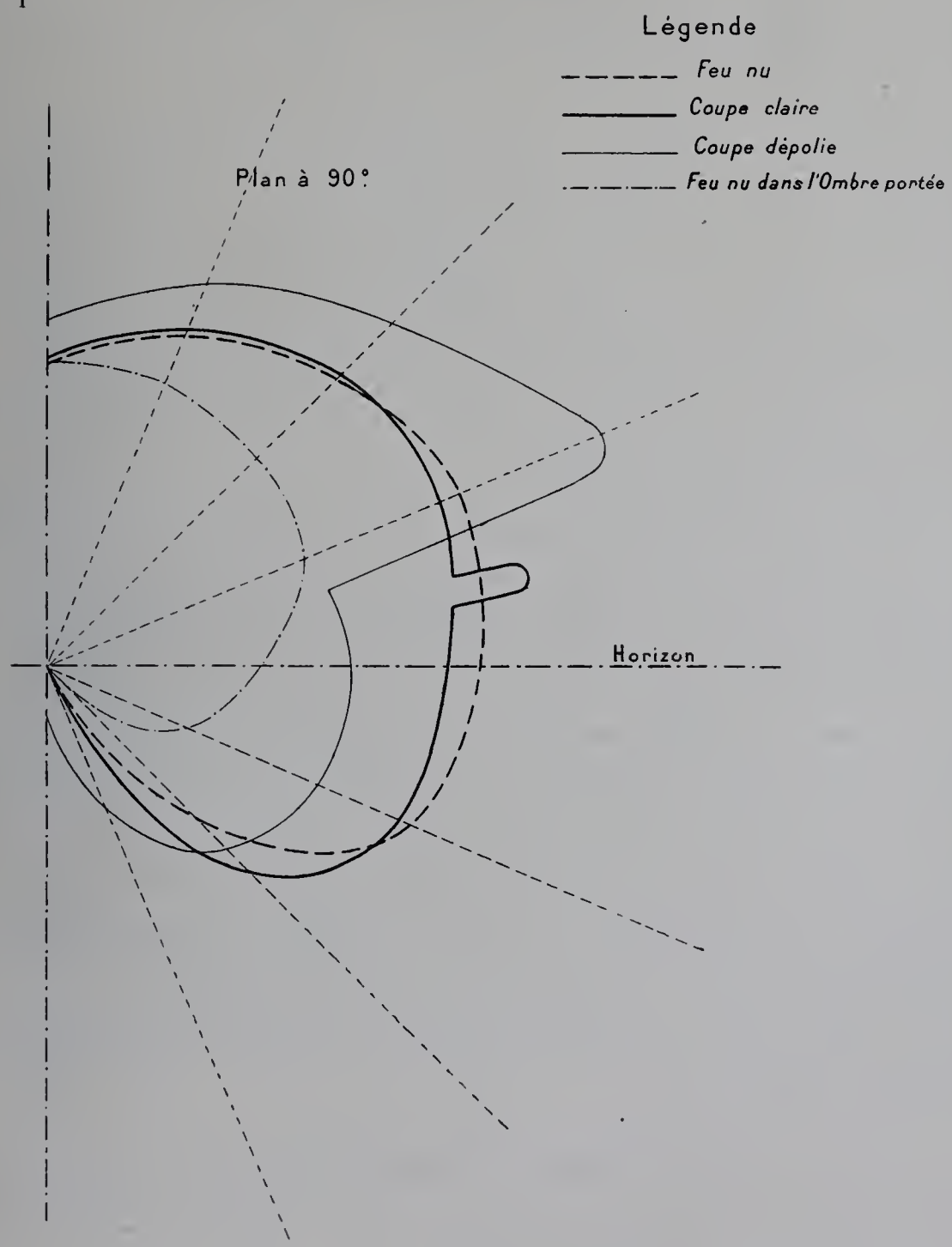


Fig. 82.

Lampe sans globe. — La courbe de répartition est assez régulière; on trouvera les valeurs des intensités lumineuses dans les diverses directions dans les tableaux ci-après. Il faut signaler qu'en dessous de l'horizon, la monture de la lampe masque une partie du filament et fait décroître ainsi rapidement l'intensité lumineuse.

Lampe munie de la coupe transparente. — La coupe protège la lampe jusqu'à 15 degrés

environ au-dessus de l'horizon. En dessous de cette direction, la répartition lumineuse est analogue à celle de la lampe à filament nu, mais l'intensité lumineuse est réduite.

Dans toute l'étendue du cône dans lequel le filament est vu librement, l'intensité lumineuse est légèrement augmentée par les diffusions et réflexions sur les parois de la coupe. Une zone très étroite, 5 degrés environ, correspondant au bord, est beaucoup plus lumineuse, les rayons s'y trouvant concentrés par la forme du verre.

Lampe munie de la coupe dépolie. — Avec la coupe dépolie, cette zone dans laquelle l'intensité est très forte est beaucoup moins nettement limitée. L'intensité lumineuse n'atteint pas les valeurs trouvées dans l'expérience précédente, mais en se rapprochant de la direction verticale, la variation est progressive et n'est pas strictement limitée à un angle de 5 degrés environ. La lumière diffusée par le globe dépoli vient renforcer dans une proportion assez grande l'intensité verticale et dans le voisinage de l'axe.

On voit, d'ailleurs, facilement sur les courbes l'effet des coupes sur la répartition lumineuse. Leur action est de renforcer la lumière de la lampe dans l'intérieur du cône correspondant à l'ouverture de la coupe.

Comme on le verra dans le tableau résumé ci-dessous, l'absorption due à la coupe transparente et surtout celle qui correspond à la coupe en verre dépoli est relativement très peu considérable, mais il ne faut pas oublier que ces enveloppes de verre sont ouvertes et renvoient, par ces ouvertures, une quantité importante de lumière, réfléchie sur d'autres portions de la surface.

Les courants d'air ayant pour effet de faire varier l'intensité lumineuse de la lampe, l'utilité des coupes ne semble pas discutable; un avantage considérable est aussi de protéger le filament d'un choc intempestif. Par contre, la position naturelle de la lampe, dans le plus grand nombre des cas, surtout avec les coupes, est d'être placée verticalement, le filament en bas, pour éclairer un plan horizontal, et nous avons vu que, dans ces conditions, la diminution de lumière peut atteindre 10 p. 100.

L'intensité moyenne sphérique a été calculée en employant, dans chaque plan, le tracé de M. Rousseau et en faisant la moyenne des nombres ainsi obtenus.

On trouvera dans des tableaux séparés (tableaux V, VI et VII) les intensités lumineuses relevées dans les principales directions, mais les résultats principaux sont réunis dans le tableau suivant.

TABLEAU RÉSUMÉ DU RENDEMENT LUMINEUX.

		FILAMENT NU.	COUPE TRANSPARENTE.	COUPE DÉPOLIE.
Régime de la lampe	Différence de potentiel	220	220	220
	Intensité	0.198	0.197	0.197
	Puissance	43.6	43.4	43.4
Intensités lumineuses	horizontale maxima	26.3	23	16
	horizontale moyenne	23.1	19.45	14.5
	moyenne sphérique	19	18.3	17.7
Flux lumineux total		240	230	222.5

	FILAMENT NU.	COUPE TRANSPARENTE.	COUPE DÉPOLIE.
$\frac{\text{Intensité moyenne sphérique}}{\text{Intensité horizontale maxima}}$	0.72	0.80	1.185
Rendement : $\frac{\text{Flux total}}{\text{Puissance}}$	5.51	5.3	5.15
Dépense spécifique : $\frac{\text{Puissance}}{\text{Int. moy. sphér.}}$	2.29	2.37	2.45
Intensité lumineuse (moyenne hémisphérique)	20.8	20.6	22.2
Dépense spécifique : $\frac{\text{Puissance}}{\text{Int. moy. hémisphér.}}$	2.10	2.11	1.95
Dépense spécifique : $\frac{\text{Puissance}}{\text{Int. horiz. maxima}}$	1.65	//	//

3° Variation des constantes d'une lampe à l'autre. — Dans le cours des essais, vingt lampes ont été étudiées à l'état neuf; elles ont été essayées avec leur douille, dans les mêmes conditions générales d'expériences, mais à des moments différents.

Comme pour tous les étalonnements semblables faits au Laboratoire central d'électricité, la lampe à étudier a été comparée à une lampe à incandescence d'intensité lumineuse connue, qui sert d'étalon secondaire. La puissance dépensée a été déterminée en mesurant l'intensité du courant pour la différence de potentiel donnée, 220 volts.

Les écarts d'une lampe à une autre sont assez grands; ils proviennent des différences des filaments entre eux et des résistances de réglage. On trouvera les résultats obtenus dans le tableau VIII, ainsi que les valeurs moyennes. Les intensités lumineuses mesurées sont les intensités horizontales maxima, c'est-à-dire que l'axe du photomètre était perpendiculaire au plan du filament.

Les dépenses spécifiques varient de 2.07 à 1.52 watts par bougie et la valeur moyenne est 1.74 watts par bougie pour 23.6 bougies décimales.

Les valeurs extrêmes de l'intensité lumineuse sont 17 et 27 bougies décimales. Ces écarts montrent que la fabrication n'est pas encore très uniforme.

Les valeurs moyennes obtenues concordent avec les résultats annoncés par le constructeur. Il faut tenir compte, en effet, que les intensités lumineuses sont évaluées en bougies décimales, tandis que les lampes portent des indications en hefner.

Or [1]

$$1 \text{ bougie décimale} = 1.13 \text{ hefner.}$$

Le tableau suivant donne les moyennes des résultats obtenus sur les vingt lampes étalonnées :

	VALEURS OBTENUES.		VALEURS ANNONCÉES.
Intensité du courant	0.1865		0.182
Puissance	41		40
Intensité lumineuse	23.6 boug. déc.	26.6 Hefner.	25 Hefner.
Dépense spécifique	1.74 watt/boug.	1.54 watt/Hefn.	1.6 watt/Hefn.

[1] Voir F. Laporte, Étude sur les étalons lumineux usuels. (*Bulletin de la Société internationale des électriciens*, 1898, p. 166.)

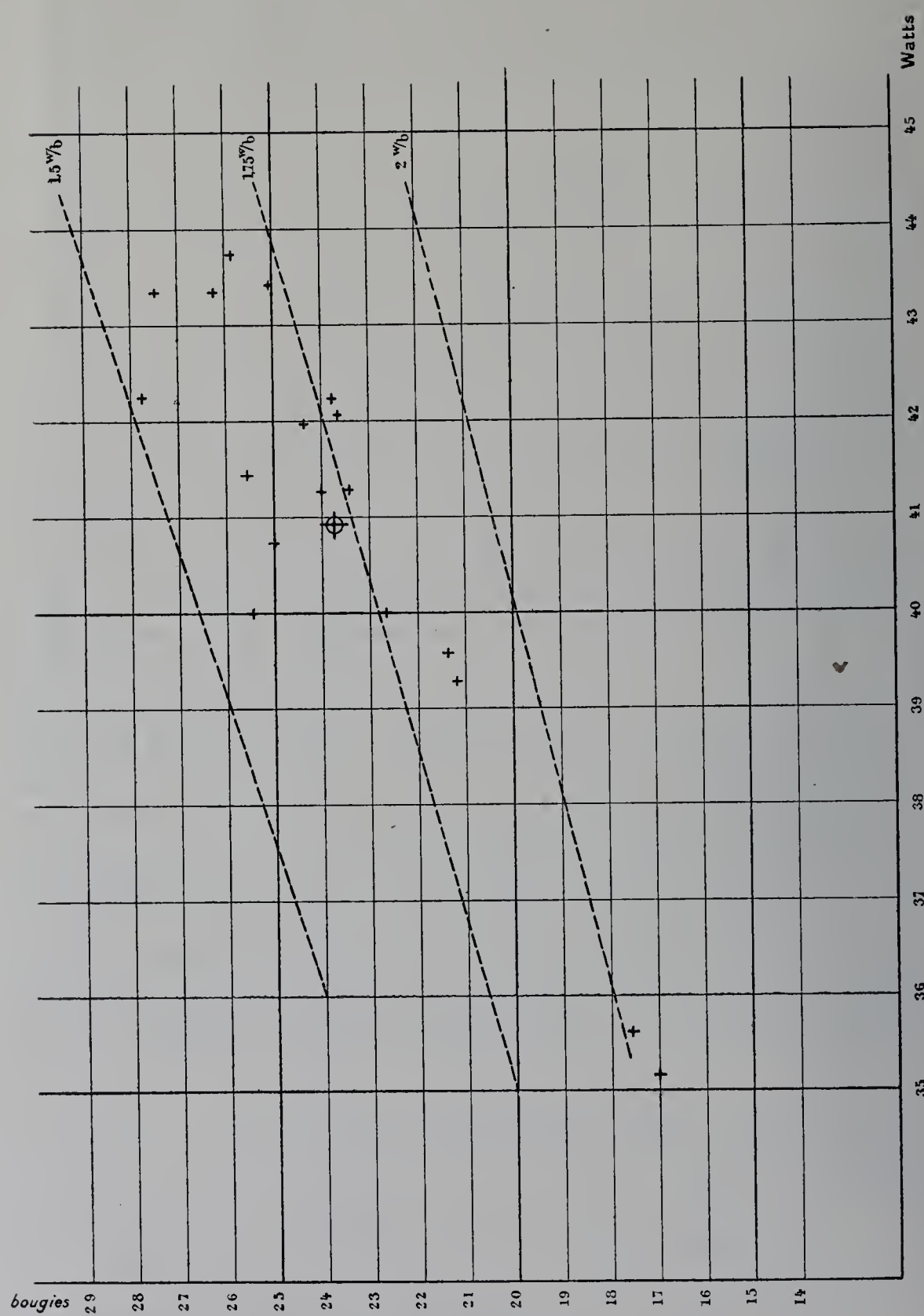


Fig. 83.

Le groupement des résultats est donné dans le graphique ci-joint (fig. 83). Chaque lampe est représentée par un point dont l'abscisse est proportionnelle à la puissance dépensée et l'ordonnée à l'intensité lumineuse. Les variations provenant du remplace-

ment d'un filament par un autre, avec la même douille et la même résistance de réglage, peuvent être appréciées par les résultats qui suivent :

LAMPE. — Numéro.	DOUILLE. — Numéro.	DIFFÉRENCE DE POTENTIEL. —	INTENSITÉ. —	PUISSANCE. —	INTENSITÉ LUMINEUSE. —	WATTS/BOUGIE. —
1.....	1	220	0.192	42.1	23.7	1.77
2.....	1	//	0.169	37.2	20.15	1.85
3..	1	//	0.180	39.6	20.7	1.91
2.....	1	220	0.169	37.2	20.15	1.85
2.....	2	//	0.160	35.15	17	2.07
3.....	1	220	0.180	39.6	20.7	1.91
3.....	3	220	0.185	40.7	25	1.63

Les différences entre filaments sont assez notables, comme il est facile de le constater par les chiffres ci-contre, mais elles sont relativement moins importantes que celles qui proviennent des résistances de réglage, quoique, *a priori,* on eût volontiers pensé le contraire, avec la facilité qu'on a de mesurer et d'ajuster les résistances. Il est probablement d'autres facteurs, tels que le diamètre, l'homogénéité et l'enroulement du fil, qui acquièrent une grande importance au régime de fonctionnement. Les résistances de réglage, mesurées à froid au pont de Wheatstone, ont montré qu'il y avait des variations assez grandes de l'une à l'autre. Voici, en effet, les valeurs trouvées pour quatre résistances mesurées : 21.5; 24.8; 20.6; 17.0 ohms. Il est probable que ces résistances sont éprouvées à chaud, sous l'action d'un courant ayant une intensité déterminée.

4° Variation des constantes avec la durée du fonctionnement. — Des lampes étalonnées au préalable ont été mises en fonctionnement au moyen de courant continu et de courants alternatifs.

1. *Courant continu.* — Les lampes étaient alimentées par des accumulateurs. Elles étaient allumées environ quinze heures sur vingt-quatre, du soir au lendemain matin. On trouvera ci-après le tableau des étalonnements successifs de trois lampes ayant fonctionné à 220 volts en moyenne (2 volts en plus ou en moins) et aussi de deux lampes auxquelles on a mis 227 volts aux bornes. Tous les étalonnements, même pour ces deux dernières lampes, ont été faits à 220 volts.

Si l'on admet pour les lampes une diminution d'intensité lumineuse de 25 p. 100 de la valeur primitive, on peut facilement, au moyen des courbes représentatives des essais, déterminer la durée de fonctionnement correspondant à cette perte et chercher la dépense spécifique de la lampe à ce moment.

LAMPE. — Numéro.	RÉGIME. —	ÉTALONNEMENT INITIAL. BOUGIES. —	ÉTALONNEMENT INITIAL. WATTS/BOUGIES. —	DIMINUTION DE 25 P. 100. DURÉE. —	DIMINUTION DE 25 P. 100. BOUGIES. —	DIMINUTION DE 25 P. 100. WATTS/BOUGIES. —
11.....	220	21.4	1.85	300	16	2.28
22.....	220	25.2	1.73	70	19	1.95
24.....	220	26	1.69	135	19.5	1.86
19.....	227	25.6	1.62	80	19.2	1.83
23.....	227	22.7	1.76	170	17	2.12

On remarquera que la durée des lampes est très inégale. Si on prend la moyenne des nombres trouvés, on trouve 170 heures pour le fonctionnement à 220 et 125 pour 228,

mais les écarts sont si considérables, que ces chiffres auraient besoin d'être contrôlés. Les lampes dont l'intensité baisse le moins vite sont celles qui présentent la dépense spécifique la plus grande, surtout à la fin de leur vie. Enfin une augmentation de 7 volts (3 p. 100) sur la différence de potentiel cause une diminution de durée qui n'a pas l'importance qu'on aurait pu craindre. Par contre, la fragilité du filament et la nécessité de l'allumage font courir à la lampe des risques nombreux d'une mise hors d'usage accidentelle avant la fin, déjà si peu éloignée, de son service économique.

On a déjà signalé, dans ce qui précède, le danger que court la lampe au moment de l'allumage en dehors de tout accident. Il faut chauffer le filament avec précaution, afin que le courant s'établissant progressivement à l'allumage n'amène pas de rupture.

Le voisinage immédiat des attaches paraît être un point faible, et on a observé plusieurs filaments rompus ainsi, à 1 ou 2 millimètres de l'extrémité.

La rupture peut se produire sans que la lampe s'éteigne et que le filament cesse de briller. Les deux parties rompues sont, en effet, en regard l'une de l'autre et très voisines; l'arc amorcé par le passage du courant subsiste parfois et l'intensité est encore suffisante pour maintenir le filament à l'incandescence.

L'arc forme un point très brillant sur le filament dont l'éclat a sensiblement baissé. La lampe ne tarde pas à s'éteindre soit par l'allongement de l'arc amené par l'usure des deux électrodes, soit par un accroissement de résistance du filament causée par un refroidissement quelconque. Le phénomène a été observé à plusieurs reprises et il est facile de le reproduire avec une lampe brisée.

La matière dont se compose le filament paraît être pâteuse à la température de l'arc et il a été possible de réparer deux lampes en resoudant son filament à lui-même. Il suffit, pendant que l'arc jaillit dans les conditions indiquées ci-dessus, de presser légèrement les deux extrémités l'une contre l'autre. Les deux lampes ont pu brûler de nouveau. L'une d'elles, n° 19, a pu fonctionner plus de 300 heures après la soudure.

Quand la lampe est restée allumée un certain temps, la matière du filament paraît subir une modification. La pâte homogène et à grains très fins prend une structure cristalline, et de nombreuses facettes réfléchissantes, d'une dimension comparable à l'épaisseur du filament, apparaissent sur toute la surface.

2. *Courants alternatifs.* — Le courant alternatif donné par le Secteur de la Rive gauche, 110 volts, 42 périodes par seconde, était élevé à la tension de 220 volts par un transformateur ayant comme coefficient de transformation $\frac{2}{1}$. Les lampes étaient alimentées par le secondaire du transformateur, et suivaient ainsi les variations quotidiennes du Secteur. La durée de quatre lampes mises en service à des jours différents n'a pas atteint quarante heures. Aucun essai photométrique n'a pu être fait en dehors de l'étalonnement des lampes neuves.

Conclusions. — Les lampes Nernst neuves ont une dépense spécifique beaucoup plus faible que les autres lampes à incandescence actuellement en usage, sans cependant atteindre la consommation spécifique de l'arc.

Leur durée dans de bonnes conditions de fonctionnement (diminution d'intensité lumineuse de 25 p. 100), quoique assez faible, ne paraît pas devoir être un obstacle absolu à leur emploi, si le prix du filament interchangeable peut être fixé assez bas.

Les essais sur courants alternatifs, quoique nettement défavorables, n'ont pas été renouvelés dans des conditions assez variées pour porter un jugement.

L'inconvénient le plus grave réside, à mon avis, dans l'allumage et dans les risques de rupture du filament qu'il entraîne nécessairement avec lui.

La lampe Nernst ne peut donc pas remplacer la lampe à incandescence dans toutes ses applications actuelles, mais elle pourrait être employée souvent, principalement dans les boutiques, et chaque fois que les lampes sont accessibles facilement et que le coût de l'éclairage a une importance primordiale.

ANNEXES.

LAMPE NERNST À ALLUMAGE NON AUTOMATIQUE.

Tableau I. — Lampe Nernst n° 2.

(Douille n° 1.)

Différence de potentiel			Intensité du courant.	Puissance dépensée.	Intensité lumineuse.	Dépense spécifique.	Résistance totale.
Totale.	Réglage.	Filament.					
— volts.	— volts.	— volts.	— ampères.	— watts.	— bougies déc.	— watts/boug.	— ohms.
205	//	//	0.1235	25.9	8.75	2.95	1,670
210	5.8	204.2	0.1365	28.6	11.8	2.42	1,540
215	7.7	207.3	0.154	33.1	15.75	2.1	1,400
220	10.3	209.7	0.169	37.2	20.1	1.85	1.305
225	13.8	211.2	0.1795	40.3	22.6	1.78	1,260
230	17	213	0.185	42.5	25	1.70	1,240
235	24	211	0.199	44.4	25.9	1.72	1,245
240	25.6	214.4	0.1895	45.4	25.5	1.78	1,270
245	33.6	211.4	0.194	47.7	27.1	1.76	1,260
250	37.4	212.6	0.202	51	30.4	1.68	1,240
255	43.6	211.4	0.221	56.1	37	1.52	1,155
259.5	48.6	210.9	0.239	62	42.6	1.46	1,085

Tableau II. — Étude de la résistance de réglage.

(Douille n° 1.)

Le filament de la lampe avait été remplacé par un fil de cuivre de quantité négligeable.

Différence de potentiel.	Intensité.	Résistance calculée.	Différence de potentiel.	Intensité.	Résistance calculée.
— volts.	— ampères.	— ohms.	— volts.	— ampères.	— ohms.
5.25	0.132	39.8	30	0.191	157
7.5	0.103	49	32.5	0.1725	168.8
10	0.1675	59.8	35	0.197	177.5
12.5	0.177	70.7	37.5	0.202	183.2
15	0.182	82.5	40	0.209	191.2
17.5	0.184	95.4	42.5	0.217	195.8
20	0.1875	106.6	45	0.226	199
22.5	0.1885	119.3	47.5	0.234	202.2
25	0.189	132	49.5	0.242	204
27.5	0.190	144.7			

Tableau III. — Lampe Nernst n° 3.

(Douille n° 3.)

Différence de potentiel			Intensité du courant.	Puissance dépensée.	Intensité lumineuse.	Dépense spécifique.	Résistance totale.
Totale.	Réglage.	Filament.					
volts.	volts	volts.	ampères.	watts.	bougies déc.	watts/boug.	ohms.
195	2.5	192.5	0.1045	//	//	//	//
205	4	201	0.1285	//	//	//	//
210	4.5	205.5	0.145	//	//	//	//
215	6.5	208.5	0.166	//	//	//	//
220	11.5	208.5	0.185	//	//	//	//
224	15.2	208.8	0.192	//	//	//	//
228	13.9	208.7	0.1922	//	//	//	//
232	23.4	208.6	0.1945	//	//	//	//
236	27.4	208.6	0.2015	//	//	//	//
240	31	209	0.213	//	//	//	//
245	36.6	208.4	0.2335	//	//	//	//
250	43.5	206.5	0.262	//	//	//	//

Tableau IV. — Répartition lumineuse horizontale.

Angle.	Filament nu.	Avec coupe	
		Transparente.	Dépolie.
degrés.			
0	26.3	22.2	16.5
30	25.2	21.4	15.2
60	22.2	18.7	13.9
90	18.2	16.6	12.1
95 (plan du filament)	9.6	9.9	12.2
120	21.8	18.9	13.7
150	25	21.4	14.9
180	26.4	23.9	15.5
210	25.3	20.2	15.1
240	22.7	17.5	14
270	19.5	16.5	13
275 (plan du filament)	11.3	10.1	//
300	21.7	18.6	14.4
330	25.2	21.4	15.8
360	26.3	22.3	16.4
Intensité horizontale moyenne	23.1	19.45	14.5
Différence de potentiel	220	220	220
Intensité	0.197	0.195	0.193
Puissance	43.4	42.5	42.9

Tableau V. — Répartition lumineuse de la lampe n° 4.

(Filament nu.)

I. Plan vertical perpendiculaire au plan du filament.
II. Plan vertical à 45 degrés du plan du filament.
III. Plan vertical à 5 degrés du plan du filament.
IV. Plan vertical du filament.

ANGLES.	I.	II.	III.	IV.
90° (axe de la lampe)	13.2	//	13	13
67 30′	17.2	16.8	15.6	13.1
45	22.4	20.8	18.2	13
22 30	25.3	23.6	19.7	12.5
0 (horizon)	26.4	24	19.3	8.9
22 30	25	22	17.8	7.2
45	20.4	18.5	9.8	3.9
67 30	14.5	13.2	1.25	//
72	0	0	0	//
Intensité moyenne azimutale	22.1	19.9	15.5	8.7
Intensité moyenne sphér. (b. déc.)	//	19	//	//
Intensité moyenne hémisph. (*id.*)	//	20.8	//	//
Différence de potentiel (volts)	//	220	//	//
Intensité du courant (ampère)	//	0.198	//	//
Puissance (watts)	//	43.6	//	//
Flux lumineux total (lumens)	//	240	//	//

Tableau VI. — Répartition lumineuse de la lampe n° 4.

(Coupe transparente.)

I. Plan vertical perpendiculaire au plan du filament.
II. Plan vertical à 45 degrés du plan du filament.
III. Plan vertical à 5 degrés du plan du filament.

(La zone très lumineuse correspond à 5 degrés environ d'ouverture.)

ANGLES.	I.	II.	III.
90° (axe de la lampe)	13.3	13.1	//
67 30′	17.4	16.8	15.8
45	21.7	20.6	18.5
23 30	23.3	23	19
10	42	32	21.7
0 (horizon)	23.3	10.3	17.9
22 30	22.4	20.2	17.2
45	18.2	15.5	13.4
67 30	12.2	10.6	2.15
72	0	0	0
Intensité moyenne azimutale	20.8	18.9	15.8
Intensité moyenne sphérique. (boug. déc.)	//	18.3	//
Intensité moyenne hémisphér. (*idem.*)	//	20.6	//
Différence de potentiel (volts)	//	220	//
Intensité (ampère)	//	0.197	//
Puissance (watts)	//	43.4	//
Flux lumineux total (lumens)	//	230	//

IMPRIMERIE NATIONALE.

Tableau VII. — Répartition lumineuse de la lampe N° 4.

(Coupe dépolie.)

I. Plan vertical perpendiculaire au plan du filament.
II. Plan vertical à 45 degrés du plan du filament.
III. Plan vertical du filament.

(Augmentation brusque de l'intensité lumineuse pour l'angle de 15 degrés.)

ANGLES.	I.	II.	III.
90° (axe de la lampe)	15.3	15.1	"
67 30′	19.6	19	18.2
45	25.6	24.8	21.6
33 45	29.3	27.6	23.8
22 30	28.9	29.5	26.8
15 (bord de la coupe)	"	"	"
0 (horizon)	16.9	15.6	13.3
22 30	16.1	15.2	13.3
45	13.9	13.6	11.5
67 30	9.5	8.7	7.3
78 45	"	4.3	"
90	"	2.1	"
Intensité lumineuse azimutale	18.7	18.1	15.9
Intensité moyenne sphérique. (boug. déc.)	"	17.7	"
Intensité moyenne hémisphér. (*idem*)	"	22.2	"
Différence de potentiel (volts)	"	220	"
Intensité (ampère)	"	0.197	"
Puissance (watts)	"	43.4	"
Flux lumineux total (lumens)	"	222.5	"

Tableau VIII. — Résultats d'étalonnement sur les lampes Nernst neuves.

LAMPE. Numéro.	DIFFÉRENCE DE POTENTIEL.	INTENSITÉ.	PUISSANCE.	INTENSITÉ LUMINEUSE.	WATTS/BOUGIES.
1	220	0.192	42.1	23.7	1.77
2	"	0.160	35.15	17	2.07
3	"	0.185	50.75	25	1.63
4	"	0.187	43.4	26.3	1.65
10	"	0.172	42.25	23.8	1.77
11	"	0.18	39.6	21.4	1.85
12	"	0.184	40	25.5	1.57
13	"	0.162	35.6	17.7	2.01
14	"	0.187	41.3	23.5	1.76
15	"	0.178	39.3	21.2	1.85
16	"	0.191	42	24.4	1.72
17	"	0.187	41.3	24	1.72
18	"	0.192	42.3	27.8	1.52
19	"	0.188	41.5	25.6	1.62
20	"	0.197	43.4	27.5	1.58
22	"	0.197	43.5	25.2	1.73
23	"	0.182	40	22.7	1.76
24	"	0.199	43.8	26	1.69
25	"	0.188	41.5	23.9	1.74
26	"	0.194	40.5	21.4	1.89
Moyenne	"	0.1865	41	23.6	1.74

TABLEAU IX. — ÉTALONNEMENTS SUCCESSIFS DE LAMPES AYANT FONCTIONNÉ À 220 VOLTS.

	NOMBRE D'HEURES D'ALLUMAGE.	INTENSITÉ.	PUISSANCE.	INTENSITÉ LUMINEUSE.	WATTS/BOUGIES.
	—	—	—	—	—
Lampe n° 11..	0	0.18	39.6	21.4	1.85
	174	0.182	40	19.2	2.08
	244	0.174	38.2	16.2	2.35
	299	0.166	36.5	15.9	//
	374	0.154	33.8	13	2.6
	434	0.128	28.2	10.1	2.78
	494 (brûlée)	//	//	//	//
Lampe n° 22..	0	0.1975	43.5	25.2	1.73
	90	0.160	35.2	17.4	2.02
	159	0.154	33.9	15.3	2.22
	205	0.151	33.2	15.3	//
	280	0.151	33.2	15.4	2.16
	340	0.143	31.4	12.6	2.5
Lampe n° 24..	0	0.199	43.8	26	1.69
	60	0.198	43.6	26.1	1.67
	120	0.171	37.6	21.1	1.78
	180	0.148	32.6	14.4	2.26
	195 (brûlée)	//	//	//	//

TABLEAU X. — ÉTALONNEMENTS SUCCESSIFS À 220 VOLTS DE LAMPES AYANT FONCTIONNÉ À 227 VOLTS EN MOYENNE.

	NOMBRE D'HEURES D'ALLUMAGE.	INTENSITÉ.	PUISSANCE.	INTENSITÉ LUMINEUSE.	WATTS/BOUGIES.
	—	—	—	—	—
Lampe n° 19..	0	0.188	41.5	25.6	1.62
	126 [1]	0.144	31.7	15.8	2
	195	0.12	26.8	10.5	2.53
	240	0.115	35.3	9.4	//
	315	0.118	26	9.8	2.66
	375	0.118	26	9.8	2.66
	435	0.116	25.6	9	2.84
Lampe n° 23..	0	0.182	40	22.7	1.76
	90	0.180	39.6	19.7	2
	160	0.167	36.5	17.5	2.8
	205	0.148	32.6	14.2	//
	280	0.139	29.4	10.7	2.74
	340	0.127	28	9.4	2.97
	400	0.123	26.9	8.4	3.2

[1] Lampe cassée et soudée avant la 2e mesure.

II. LAMPE À ALLUMAGE AUTOMATIQUE.

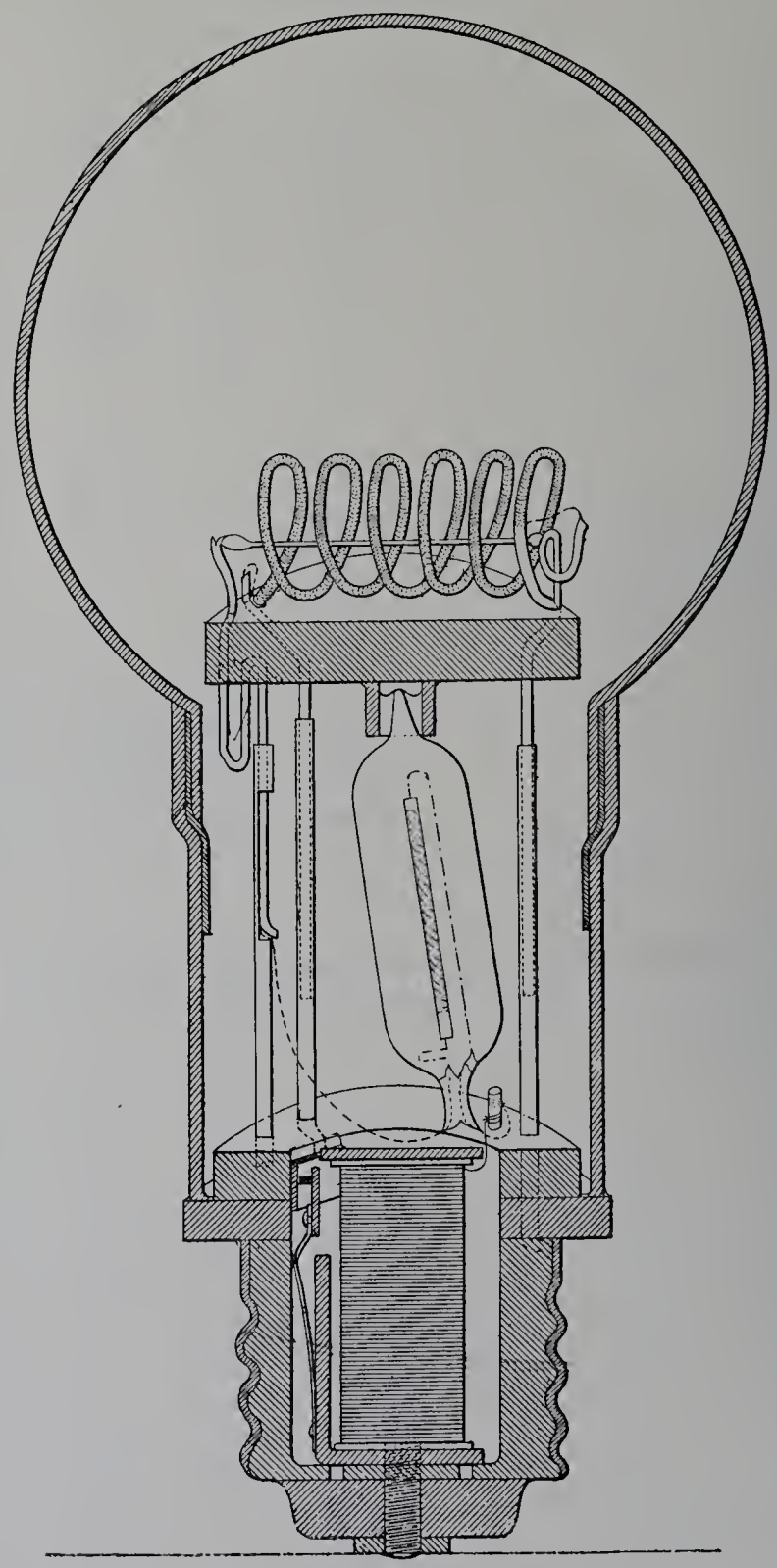


Fig. 84.

Les ampes essayées étaient du type 220 volts, 25 bougies.

Le filament est recouvert d'un globe de verre transparent, de forme sphérique, qui vient s'adapter à la douille de la lampe même (fig. 84).

Le filament est rectiligne de 20 millimètres environ de longueur; il est maintenu parallèlement à la plaque de porcelaine qui sert à la fois de support et de réflecteur. Le filament est entouré par une hélice de six spires (diamètre d'enroulement : 10 millimètres). Cette hélice est formée d'un cylindre de matière isolante de 1 millimètre de diamètre. Tout le long de ce cylindre se trouve enroulé en spirale un fil métallique fin qui est destiné à produire l'allumage en échauffant par rayonnement le filament.

Entre les deux pôles de la lampe sont montés deux circuits en dérivation; l'un d'eux se compose du filament de la résistance de réglage et du fil d'un électro-aimant commandant l'interrupteur d'allumage automatique, le second comprend le fil de la spirale d'allumage en passant par l'interrupteur.

Au moment où la tension est appliquée à la lampe, le courant, traversant le fil fin métallique, échauffe la spirale isolante jusqu'à la température du rouge et rayonne sur le filament. Quand la température de ce dernier est suffisante, le courant passe, porte le filament à l'incandescence et en même temps excite l'électro-aimant. L'armature attirée rompt le circuit dérivé d'allumage. Dès l'interruption du courant, le contact est rétabli et la lampe prête à s'allumer de nouveau.

L'électro-aimant est installé dans la douille et se trouve recouvert par un plateau de matière isolante. La résistance de réglage est maintenue entre ce plateau et un autre sur lequel sont installés le filament et la résistance d'allumage. Cette dernière partie est démontable, et lorsque le filament est brûlé, on peut remplacer toute la partie supérieure en conservant la douille et la résistance de réglage. Ce changement, bien qu'assez simple, ne peut être effectué que par un ouvrier au courant de ce travail.

I. Étude de l'allumage automatique. — Comme il vient d'être dit, le filament et le fil d'allumage sont montés solidairement sur un plateau de matière isolante blanche. Les fils sont soudés à des petites tiges métalliques au nombre de trois, enrobées par la matière isolante et qui assurent les connexions électriques en s'engageant dans de petits tubes de laiton portés par le plateau inférieur. Pour assurer l'invariabilité du système, l'un des fils est tordu, l'extrémité sortant par une ouverture pratiquée le long du tube.

Le fil métallique très fin est enroulé sur un cylindre isolant; de cette façon, l'ensemble a une rigidité suffisante pour se maintenir dans de bonnes conditions et, d'autre part, le cylindre isolant est échauffé par le fil métallique par conductibilité jusqu'à la température du rouge et rayonne à son tour sur le filament. La température du métal est diminuée ainsi.

La résistance qui sert à l'allumage varie beaucoup avec la température. A froid, elle a été trouvée par une mesure au pont de 260 ohms; à la tension de 220 volts, à la température du rouge, le courant qui traverse le fil est de 0.270 ampère et, par suite, la résistance a atteint la valeur de 815 ohms.

On a déterminé le temps qui s'écoule entre l'instant où la différence de potentiel est établie aux bornes de la lampe et le moment où le filament rayonne, et cela pour des

tensions croissantes de 180 à 230 volts. On trouvera les résultats de ces essais dans le tableau I ci-après; ils sont représentés par la courbe de la figure 85.

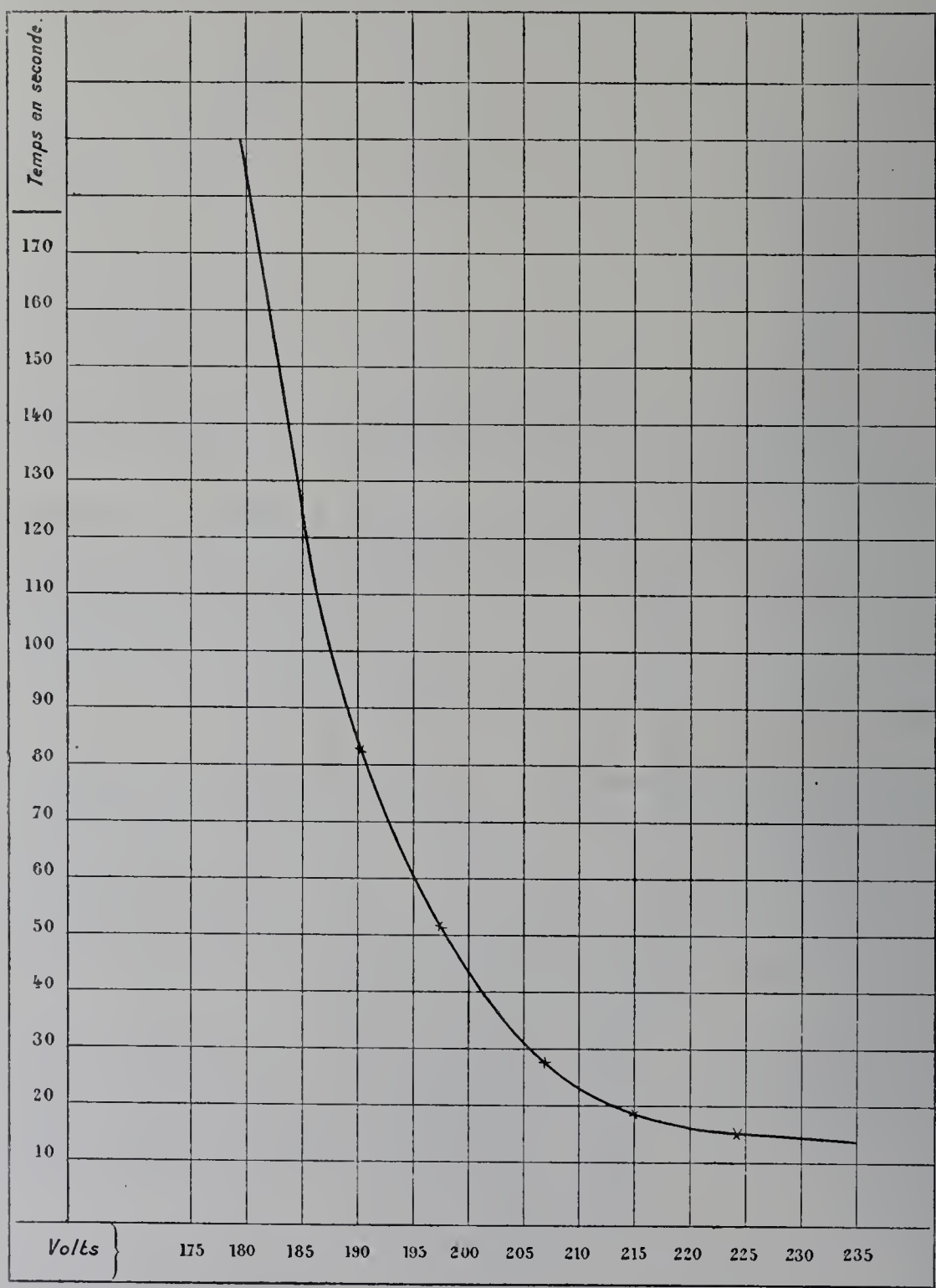


Fig. 85.

Quand la lampe est placée verticalement, la douille en haut, le filament en bas, disposée de manière à éclairer le sol, l'allumage est assez rapide. A 220 volts, le temps nécessaire est dix-sept secondes environ. Dans la position inverse, le filament étant tourné

vers le haut, l'allumage est plus difficile et beaucoup plus long; à 220 volts, il a fallu attendre trois minutes, c'est-à-dire un temps dix fois plus grand.

Il semble que cette différence tient à la position dissymétrique que le filament occupe dans le globe de la lampe. Dans le premier cas, le filament et la résistance d'allumage se trouvent dans la partie supérieure, et par conséquent dans la portion la plus chaude de l'air enfermé. Dans le second cas, au contraire, l'air chaud monte à la partie supérieure du globe, et le filament, pendant une partie au moins de l'allumage, ne s'échauffe que par rayonnement.

Le fonctionnement de la lampe et l'emploi réitéré du dispositif d'allumage n'ont pas d'action sur le temps nécessaire pour échauffer le filament. Deux lampes, l'une neuve, l'autre ayant brûlé cent vingt heures, ont donné les mêmes résultats.

La durée du fil d'allumage n'a pu être déterminée; d'après le montage de la lampe, cette résistance doit être remplacée en même temps que le filament, puisqu'ils sont solidaires et fixés sur la même plaque isolante.

Quand le filament vient à se rompre, la lampe étant allumée, le courant cesse dans l'électro-aimant et le fil d'allumage est mis en circuit, et il y reste jusqu'au moment où, s'apercevant de la rupture du filament, on vient à couper le courant. Il se présentera donc souvent dans la pratique que la résistance de réglage, parcourue longtemps par le courant, se rompra à son tour, et l'on comprend que, dans ces conditions de fonctionnement, le constructeur n'ait pas prévu le remplacement du filament seul, comme il l'a fait dans la lampe du type ordinaire.

II. Étude de la variation des constantes de la lampe avec la différence de potentiel aux bornes. — Les variations des constantes de la lampe avec différentes tensions n'ont pas été étudiées à nouveau. La détermination de l'action de la résistance de réglage n'a pas été reprise non plus.

III. Étude de la répartition lumineuse. — *Répartition horizontale. Lampe fonctionnant sans globe.* — La lampe étant placée verticalement sur le banc photométrique, la douille en bas, le filament tourné vers le haut, l'intensité lumineuse a été mesurée de 22 en 22 degrés, en faisant tourner la lampe autour de son axe.

L'intensité lumineuse maxima, comme il fallait s'y attendre, est donnée pour la direction perpendiculaire à la ligne du filament, tandis que l'intensité minima est obtenue dans la direction du filament.

Les résultats sont portés dans le tableau II et dans la courbe, fig. 86, p. 521.

On peut remarquer que, pour la lampe sans globe, la courbe de répartition horizontale obtenue expérimentalement se rapproche beaucoup de deux circonférences tangentes, résultat théorique facile à calculer avec un filament rectiligne horizontal, et en supposant que l'émission lumineuse suive la loi dite du *cosinus*. Avec le globe, la courbe est nettement intérieure dans toutes les directions. Les réflexions et réfractions sont nombreuses dans le voisinage de l'horizon et rendent difficile le repérage précis de la lampe. Les mesures faites dans ces conditions sont un peu irrégulières.

Le calcul des intensités horizontales moyennes a donné les résultats suivants :

		LAMPE	
		SANS GLOBE.	AVEC GLOBE.
Intensité lumineuse horizontale	maxima	18.5	17.8 bougies.
	minima	2.4	2
	moyenne	13.1	11.7
Rapport : $\frac{\text{Intensité minima}}{\text{Intensité maxima.}}$		0.13	0.11
Rapport : $\frac{\text{Intensité moyenne}}{\text{Intensité maxima.}}$		0.71	0.66

L'intensité moyenne horizontale avec le globe est environ les 9/10 de l'intensité sans globe.

On peut remarquer également que les variations d'intensité lumineuse sont beaucoup plus grandes avec le filament rectiligne des lampes automatiques qu'avec le filament demi-circulaire des lampes Nernst ordinaires.

2. *Répartition lumineuse dans des plans verticaux.* — Il est bon de signaler tout d'abord que, pour la lampe à allumage automatique comme pour la lampe ordinaire, l'intensité du courant et, par suite, l'intensité lumineuse dépendent de la position de la lampe et varient notablement, l'axe étant vertical suivant qu'elle éclaire le sol ou le plafond. Ces différences, comme cela a été dit, dépendent des températures de régime de la résistance de réglage et du filament.

	AXE DE LA LAMPE VERTICAL.		
	FILAMENT		RAPPORT.
	vers le haut. 1	vers le bas. 2	$\frac{\text{Position 2}}{\text{Position 1}}$
Intensité lumineuse horizontale	16.8	15 bougies.	0.895
Intensité du courant	0.173	0.167 ampères.	0.965

Dans toutes les expériences, à moins d'indication contraire, la lampe a été placée le filament tourné vers le haut.

La répartition lumineuse a été étudiée sur la même lampe dans les plans suivants :

1° Plan vertical perpendiculaire au filament;

2° Plan vertical à 45° du plan vertical du filament;

3° Plan vertical du filament.

Ces mesures ont été faites avec et sans globe transparent.

1. *Lampe sans globe.* — C'est dans la direction de l'axe de la lampe qu'on obtient l'intensité maxima. Cet effet est dû au plateau de matière isolante, placé à un demi-centimètre environ du filament qui diffuse une portion importante de lumière. C'est la différence entre l'intensité dans l'axe et l'intensité horizontale pour le plan perpendiculaire au filament

$$24.6 - 19.3 = 5.3 \text{ bougies.}$$

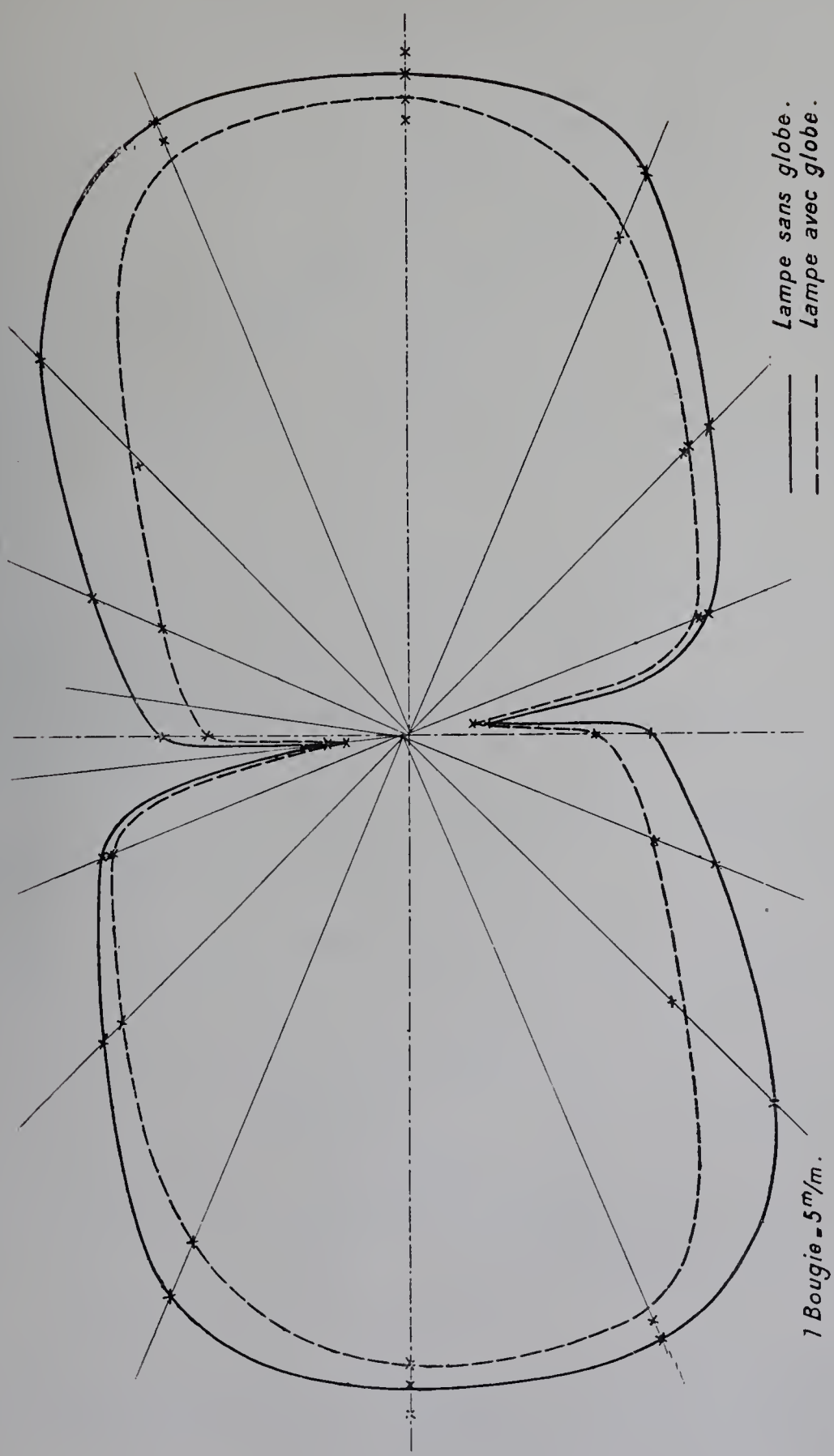


Fig. 86.

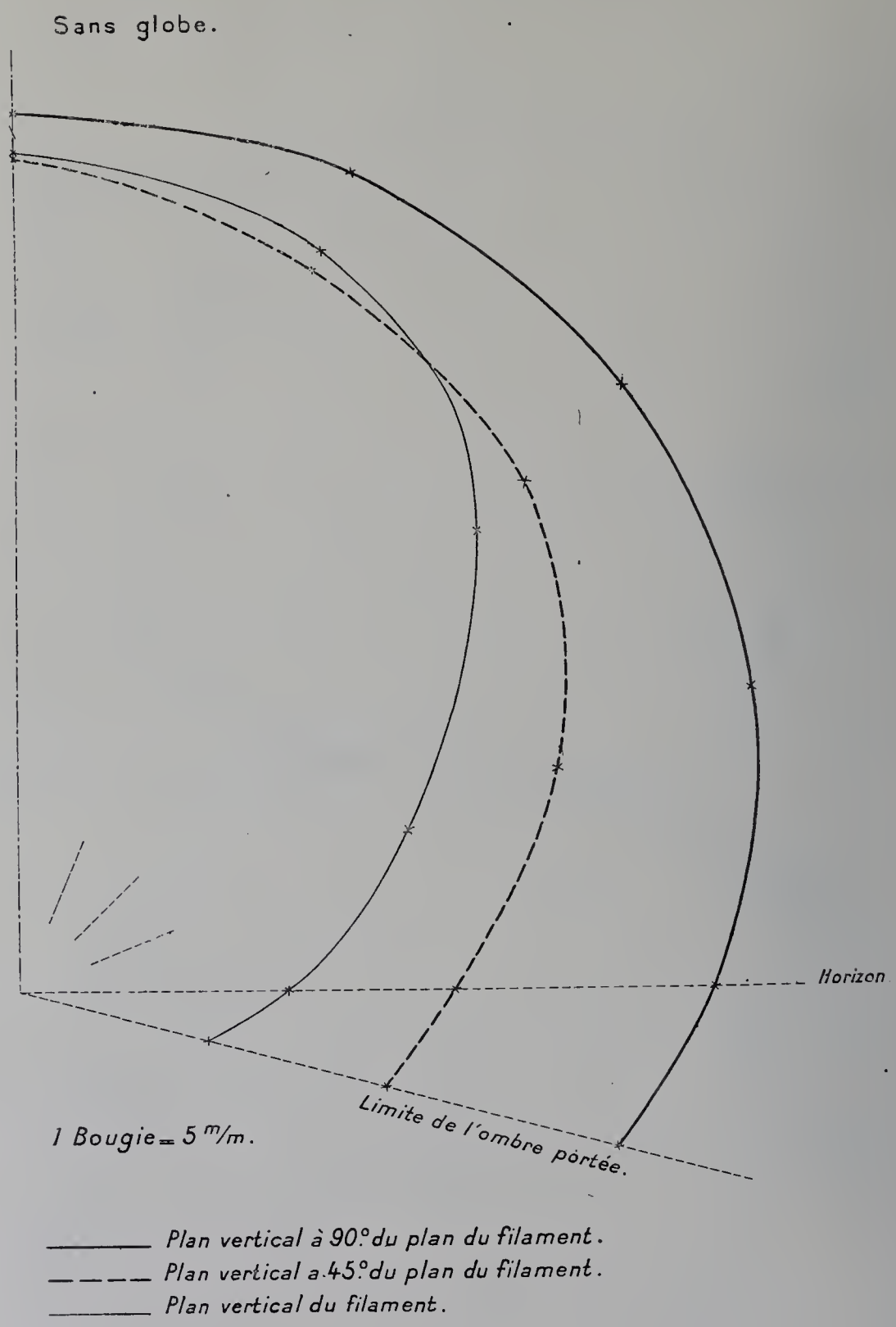


Fig. 87.

L'ombre portée par ce plateau commence à 15° environ en dessous de l'horizon.

Les courbes sont arrondies et assez régulières, comme ont peut le voir sur la courbe reproduite ici (tableau III, fig. 87).

2. *Lampe avec globe transparent.* — Les formes générales des courbes sont les mêmes, mais elles sont moins arrondies, le maximum, dans la direction de l'axe de la lampe, étant plus nettement marqué. Les réflexions et réfractions qui se produisent dans le globe favorisent l'intensité lumineuse, suivant l'axe de la lampe au dépens de l'intensité dans des directions voisines de l'horizon (tableau IV, fig. 88, p. 524).

Des réflexions et réfractions irrégulières rendent incertaines les mesures d'intensité lumineuse entre l'horizon et la limite de l'ombre portée par la douille.

Les deux séries de courbes se rapportent à la même lampe fonctionnant dans les mêmes conditions générales. Cependant la puissance électrique dépensée ne se trouve pas être la même dans les deux expériences, soit par suite de l'influence du globe sur la température du filament, soit pour un autre motif non déterminé.

Afin d'éliminer cette cause possible d'erreur dans l'influence du globe, il vaut mieux comparer les rendements lumineux ou les dépenses spécifiques plutôt que de prendre directement le rapport des flux lumineux ou des intensités moyennes sphériques, et on trouve qu'avec le globe le rendement est les 88/100 du rendement sans globe, ainsi qu'il résulte du tableau résumé ci-après.

Par suite de la forme des courbes de répartition et de l'ombre considérable portée par la douille, on a calculé l'intensité moyenne hémisphérique en même temps que l'intensité moyenne sphérique, afin de pouvoir comparer ces lampes aux autres sources de lumière dans les conditions les plus voisines de leur emploi.

Si maintenant on se reporte aux résultats obtenus avec les lampes Nernst ordinaires, on constate que leurs rendements sont de beaucoup supérieurs à ceux des lampes automatiques. Les intensités moyennes hémisphériques des unes et des autres sont à peu près égales. Dans ces conditions, la dépense est égale, l'effet utile peut être équivalent, mais le flux lumineux total est loin d'être le même.

TABLEAU RÉSUMÉ DU RENDEMENT LUMINEUX.

		LAMPE	
		SANS GLOBE.	AVEC GLOBE.
Régime de la lampe..	Différence de potentiel.... (volts).	220	220
	Intensité..... (ampère).	0.172	0.175
	Puissance..... (watts).	37.8	38.5
Intensité lumineuse...	moyenne sphérique.... (bougies).	10.5	9.5
	moyenne hémisphérique (*idem*) .	18.1	16.6
Flux lumineux total..... (lumens).		132	119
Flux lumineux en dessus de l'horizon..... (*idem*) .		114	104
Rendement ou flux spécifique.....	$\frac{\text{Flux total}}{\text{Puissance}}$	3.5	3.1
	$\frac{\text{Flux en dessus de l'horizon}}{\text{Puissance}}$	3.02	2.71
Dépense spécifique...	$\frac{\text{Puissance}}{\text{Intensité moyenne sphérique}}$	3.58	4.07
	$\frac{\text{Puissance}}{\text{Intensité moyenne hémisphérique}}$	2.95	2.39

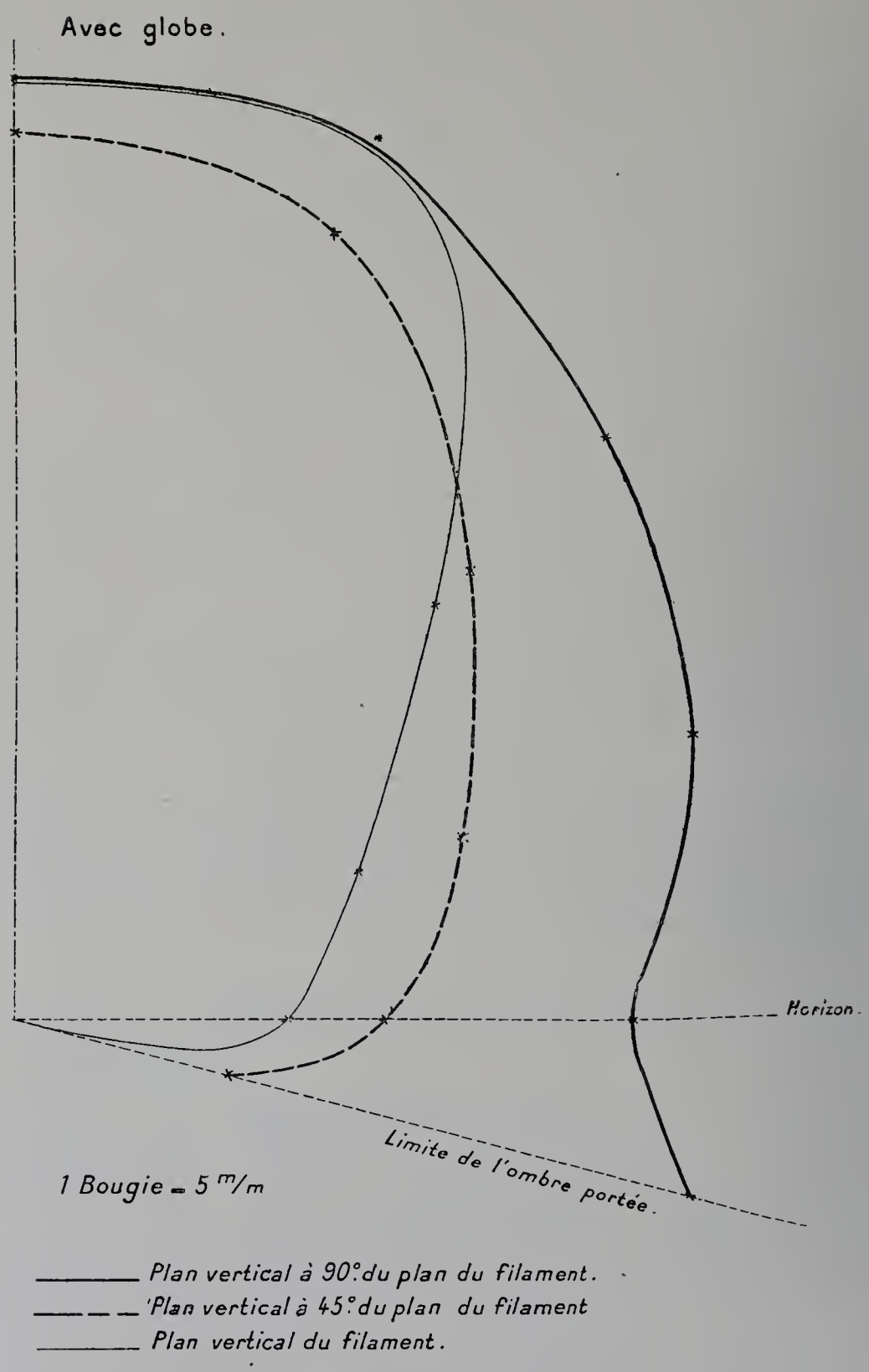


Fig. 88.

3. *Variation des constantes de la lampe avec la durée de son fonctionnement.* — Une lampe Nernst à allumage automatique a été mise en service pendant cent vingt heures à 220 volts. Le courant était fourni par une batterie d'accumulateurs.

L'intensité lumineuse a été mesurée dans la direction de l'axe, la lampe étant munie de son globe.

Les deux étalonnements sont les suivants :

	DIFFÉRENCE DE POTENTIEL.	INTENSITÉ.	PUISSANCE.	INTENSITÉ LUMINEUSE.	DÉPENSE SPÉCIFIQUE.
	volts.	ampères.	watts.	bougies.	watt/bougies.
Lampe neuve.....	220	0.173	38.0	25.7	1.48
Après 120 heures.....	220	0.172	37.8	19.5	1.94

La lampe, dans cet intervalle, a donc perdu 24 p. 100 de son intensité lumineuse primitive.

On a constaté que la surface du filament a pris l'apparence cristalline signalée déjà au sujet des lampes Nernst du type ordinaire.

Conclusion. — Le dispositif de l'allumage automatique fonctionne d'une façon régulière et sûre quand la lampe est placée de manière à éclairer le sol. Dans le cas contraire, le fonctionnement est trop long pour être employé.

La forme rectiligne du filament paraît moins favorable pour sa conservation que la forme de demi-circonférence de la lampe Nernst ordinaire.

Le rendement de la lampe automatique est inférieur à celui de la lampe ordinaire, si on considère l'ensemble de la lumière émise; pour le flux hémisphérique, les rendements sont presque équivalents.

Il faut aussi signaler comme inconvénient le peu d'uniformité de la répartition lumineuse horizontale et les dimensions volumineuses de la douille.

La durée de la lampe restant la même, les risques accidentels de rupture du filament, au moment de l'allumage ou autrement, sont beaucoup diminués. Il est cependant peu probable que l'économie qui doit en résulter soit équivalente à l'accroissement considérable de prix dû au remplacement total de la lampe au lieu du simple changement du filament.

ANNEXES.

LAMPE NERNST AUTOMATIQUE.

Tableau I. — Temps nécessaire pour l'allumage à différentes tensions.

Tension aux bornes.	Durée nécessaire à l'allumage.	Observations.
volts.	secondes.	
		Lampe n° 1.
174	Plus de 8 minutes.	Axe de la lampe vertical; filament vers le bas.
182.5	169	
191.1	83	
198.9	53	
207	29	
215.7	19	
224.1	17	
231.9	15	
223.5	175	Filament vers le haut.
231.9	129	
		Lampe n° 2.
216	19	Filament vers le bas.
222.6	16.5	
231.3	14.5	

Tableau II. — Répartition lumineuse horizontale de la lampe Nernst automatique.

Angle.	Lampe sans globe.	Lampe avec globe.
0° (perpendiculaire au filament)	17.7	17.2
22 30′	18.5	15.4
45	14.6	11.4
67 30	9.5	9.2
90 (direction du filament)	6.9	5.55
97 (dans l'ombre)	2.4	2
112 30	9.15	7.4
135	12.1	10.65
157 30	17.1	17.8
180	19.1	18.3
Intensité moyenne	13.1	11.7
Différence de potentiel	220	220
Intensité	0.176	0.177
Puissance	38.7	38.9

Tableau III. — Répartition lumimeuse de la lampe Nernst automatique.

(Sans globe.)

I. Plan vertical perpendiculaire au plan du filament.
II. Plan vertical à 45 degrés du plan vertical du filament.
III. Plan vertical du filament.

(Ombre portée par la douille à 15 degrés de l'horizon.)

ANGLES.	I.	II.	III.
90° (axe de la lampe)	24.6	23.1	23.4
67 30	24.7	21.6	22.4
45	23.9	20	18.1
22 30′	22	16.2	11.6
0 (horizon)	19.3	12	7.4
15	17.1	10.5	5.2
Intensité moyenne azimutale	13.6	10.2	8.1
Différence de potentiel (volts)	220	220	220
Intensité (ampères)	0 174	0.171	0.171
Puissance (watts)	38.3	37.6	37.6
Intensité moyenne { sphérique (bougies)	//	10.5	//
Intensité moyenne { hémisphérique (*idem*)	//	18	//
Flux lumineux { total (lumens)	//	132	//
Flux lumineux { en dessus de l'hor. (*id.*)	//	114	//

Tableau IV. — Répartition lumineuse de la lampe Nernst automatique.

(Avec globe.)

I. Plan vertical perpendiculaire au filament.
II. Plan vertical à 45 degrés du plan vertical du filament.
III. Plan vertical du filament.

(Ombre portée par la douille à 15 degrés de l'horizon.)

ANGLES.	I.	II.	III.
90° (axe de la lampe)	25.7	24.2	25 6
67 30′	35.9	23.1	25.9
45	22.4	17.3	16.1
22 30	20.1	13.25	10.1
0 (horizon)	16.8	10.1	7.5
15	18.8	6	//
Intensité moyenne azimutale	12.7	8.8	7.7
Différence de potentiel (volts)	220	220	220
Intensité (ampères)	0.173	0.176	0.177
Puissance (watts)	38	38.7	38.9
Intensité moyenne { sphérique (bougies)	//	9.50	//
Intensité moyenne { hémisphérique (*idem*)	//	16 6	//
Flux lumineux { total (lumens)	//	119	//
Flux lumineux { en dessus de l'hor. (*id.*)	//	104	//

QUATRIÈME PARTIE.

APPAREILLAGE.

Nous ne pouvons songer ici à entrer dans le détail de la description du petit et du moyen appareillage (interrupteurs, coupe-circuits, etc.) qui figuraient à l'Exposition. Nous signalerons les expositions suivantes : Compagnie française d'appareillage électrique, Compagnie générale des travaux d'éclairage et de force, Vedovelli et Priestley (France); Voigt et Haeffner (Allemagne); Hart et Hageman (États-Unis); Société d'appareillage électrique et industrielle (Suisse); d'ailleurs, la plupart des grandes maisons de construction fabriquent en tout ou en partie leur propre appareillage.

Cette branche de la construction électrique, qui a longtemps été considérée comme un accessoire sans importance et sans difficulté, toute l'attention se portant sur les machines et sur les lampes, commence à prendre la place qu'elle mérite; le succès, ou du moins le bon fonctionnement d'une installation dépend en grande partie de son appareillage; les différents modèles, qui doivent être à la fois très résistants aux usages journaliers, et très peu coûteux, commencent à être très étudiés à ce double point de vue; la porcelaine, malgré ses inconvénients (facile rupture, travail difficile), continue à être le support le plus employé à cause de ses excellentes propriétés d'isolement; l'élévation progressive des tensions des installations (220 ou 440 volts) a amené forcément l'étude plus soignée de l'appareillage pour ces tensions; la principale difficulté que l'on rencontre alors est l'amorcement d'un arc au moment de la rupture soit d'un interrupteur, soit d'un coupe-circuit; cette difficulté conduit à augmenter les dimensions linéaires des appareils à mesure que la tension s'élève (par exemple, dans un coupe-circuit pour courant à 500 volts, la distance des points d'attache doit être de 8 centimètres). Pour nous en tenir au petit appareillage, nous avons pu examiner des interrupteurs fonctionnant bien sous 500 volts; quelquefois ces interrupteurs sont formés de deux interrupteurs en série qui n'ont ainsi à couper que 250 volts chacun.

En ce qui concerne le gros appareillage, dans l'obligation où nous sommes de nous limiter, nous ne retiendrons que deux genres d'appareils, plus spécialement affectés aux installations d'éclairage : 1° les réducteurs automatiques pour accumulateurs; 2° les jeux d'orgue pour théâtre.

I. RÉDUCTEURS AUTOMATIQUES.

Un grand nombre d'exposants présentaient des appareils de ce genre; nous citerons : en France, la Compagnie française d'appareillage électrique, MM. Vedovelli et Priestley, en Allemagne, l'Allgemeine El. Gesellschaft, la Société Schuckert, la Société Siemens et Halske; en Suisse, MM. Schneider-Vogt, de Winterthur.

Tous ces appareils présentaient des particularités intéressantes. Nous en décrirons seulement deux :

1° Le réducteur automatique de M. Zetter (Compagnie française d'appareillage électrique); 2° le réducteur automatique de M. Schneider.

I. RÉDUCTEUR DOUBLE DE CHARGE ET DE DÉCHARGE SE COMMANDANT À DISTANCE.

(Compagnie française d'appareillage électrique.)

Ce réducteur double pouvant être placé près des accumulateurs est manœuvré à l'aide d'un tableau de commande situé en un point quelconque éloigné de la batterie.

Le but en est le suivant : suppression de la plus grande partie, toujours onéreuse, des gros câbles de réduction et en même temps facilité de diriger la lumière du local où on en a l'emploi, sans se déplacer. Ce système nécessite donc :

1° Un réducteur double de charge et de décharge se commandant à distance;

2° Un tableau assurant la manœuvre du réducteur.

1° Réducteur. — Ce réducteur rectiligne est composé (fig. 89) d'une série de touches : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, reliées chacune avec l'un des bacs des der-

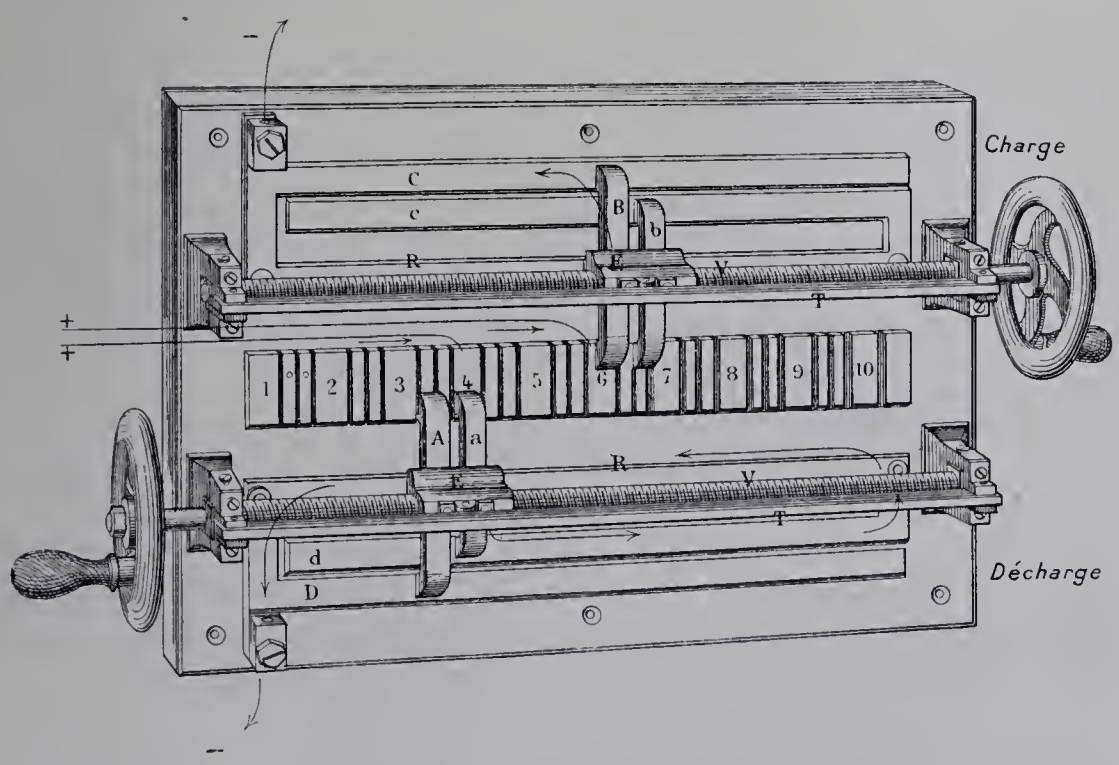


Fig. 89.

niers éléments de la batterie; deux balais, A et B, venant se placer sur l'une des touches, établissent le contact avec des barres longitudinales, C et D, placées de chaque côté de l'appareil et assurent l'un le circuit de charge, l'autre le circuit de décharge.

IMPRIMERIE NATIONALE.

La marche de chacun de ces groupes frotteurs est assurée par une vis V, placée sur la longueur de l'appareil et portant un écrou E qui se déplace en avant ou en arrière, selon que l'on tourne la vis de droite à gauche ou de gauche à droite.

Le mouvement de rotation nécessaire à la manœuvre du réducteur est produit à l'aide d'un petit moteur électrique M (fig. 90), commandant par une transmission *t* un système double d'engrenages, *m*, m_1, m_2, ce dernier agissant d'un côté sur l'une des vis et de l'autre sur la deuxième, soit séparément, soit simultanément, au moyen de clabots mobiles c_1 et c_2, s'embrayant ou se débrayant par une action électro-magnétique.

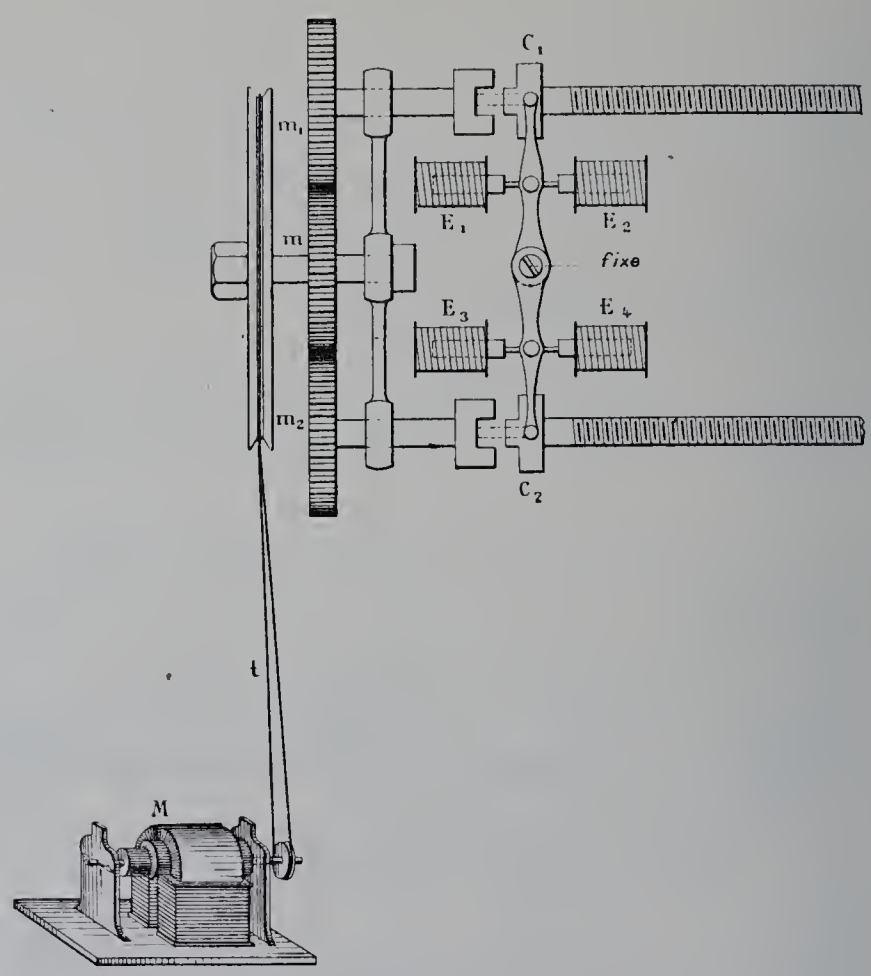


Fig. 90.

A cet effet, il a été monté de chaque côté de l'appareil un double électro-aimant, E_1, E_2, E_3, E_4, à l'intérieur duquel peut se mouvoir un barreau de fer doux, qui, attiré par l'un ou l'autre électro, embraye ou débraye la vis sur laquelle on veut agir.

On voit donc qu'en embrayant l'une ou l'autre vis à l'aide de l'électro-aimant, on pourra faire avancer, dans un sens ou dans l'autre, l'un des deux sabots ou les deux ensemble.

Une disposition spéciale faisant partie du tableau qui sera décrit tout à l'heure permettra d'arrêter exactement le balai en face d'un plot quelconque.

Si l'un des porte-balais arrivait à l'extrémité de l'une des vis, il serait à craindre, dans

le cas où le moteur ne serait pas arrêté en temps voulu, que ce porte-balai vienne buter contre le palier portant la vis. Pour éviter cet inconvénient, on emploie un inverseur décrit ci-après :

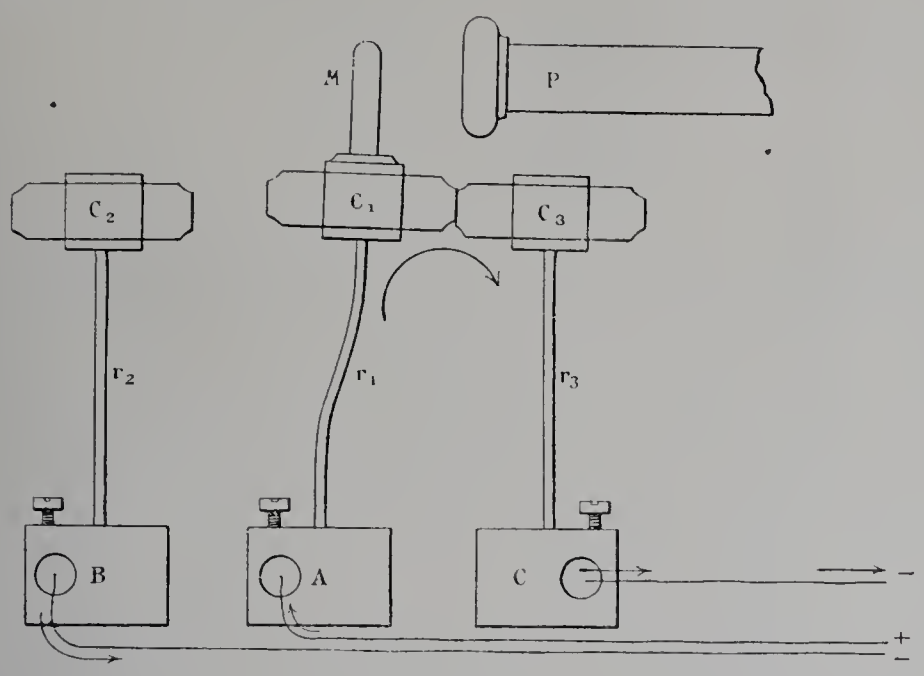


Fig. 91.

Ce système d'inverseur consiste, ainsi qu'on peut le voir dans le schéma de l'appareil (fig. 91 et 92), en quatre groupes de contacts à deux directions; chacun de ces contacts est formé de trois blocs de charbon, c_1, c_2, c_3, montés à l'extrémité de lames d'acier, r_1, r_2, r_3, fixées sur des blocs d'arrivée de courant A, B, C.

Normalement, le charbon c_1 est en contact avec le charbon c_3 et le courant se trouve établi de A en C.

Lorsque le gros balai a pris contact sur la dernière touche, un butoir P fixé sur l'écrou manœuvre l'inverseur correspondant en poussant la tige M; le courant passe alors de A en B, par suite dans l'électro de débrayage; la vis s'arrête aussitôt automatiquement et le réducteur reste en fonction sur la dernière touche.

Si l'on veut ramener le balai en arrière, il suffit de renvoyer l'aimantation dans l'électro d'embrayage, en ayant soin de faire tourner le moteur en sens contraire; aussitôt la mise en marche, l'inverseur fonctionnant à nouveau reprend sa position première, produisant encore l'arrêt de la vis que l'on remet en marche en redressant normalement le courant.

2° Tableau. — Le tableau (fig. 93), commandant à distance le réducteur, comprend deux séries de lampes à incandescence, L_1, L_2, en nombre égal à celui des touches de l'appareil; une série correspond à la charge, l'autre à la décharge. Les lampes des deux extrémités, soit de la charge, soit de la décharge, ont été prévues en verre rouge et indiquent les premières et dernières touches.

Lorsque le balai passe sur un plot, la lampe correspondante s'allume et indique ainsi à la personne chargée de la manœuvre de l'appareil le point où se trouve le balai

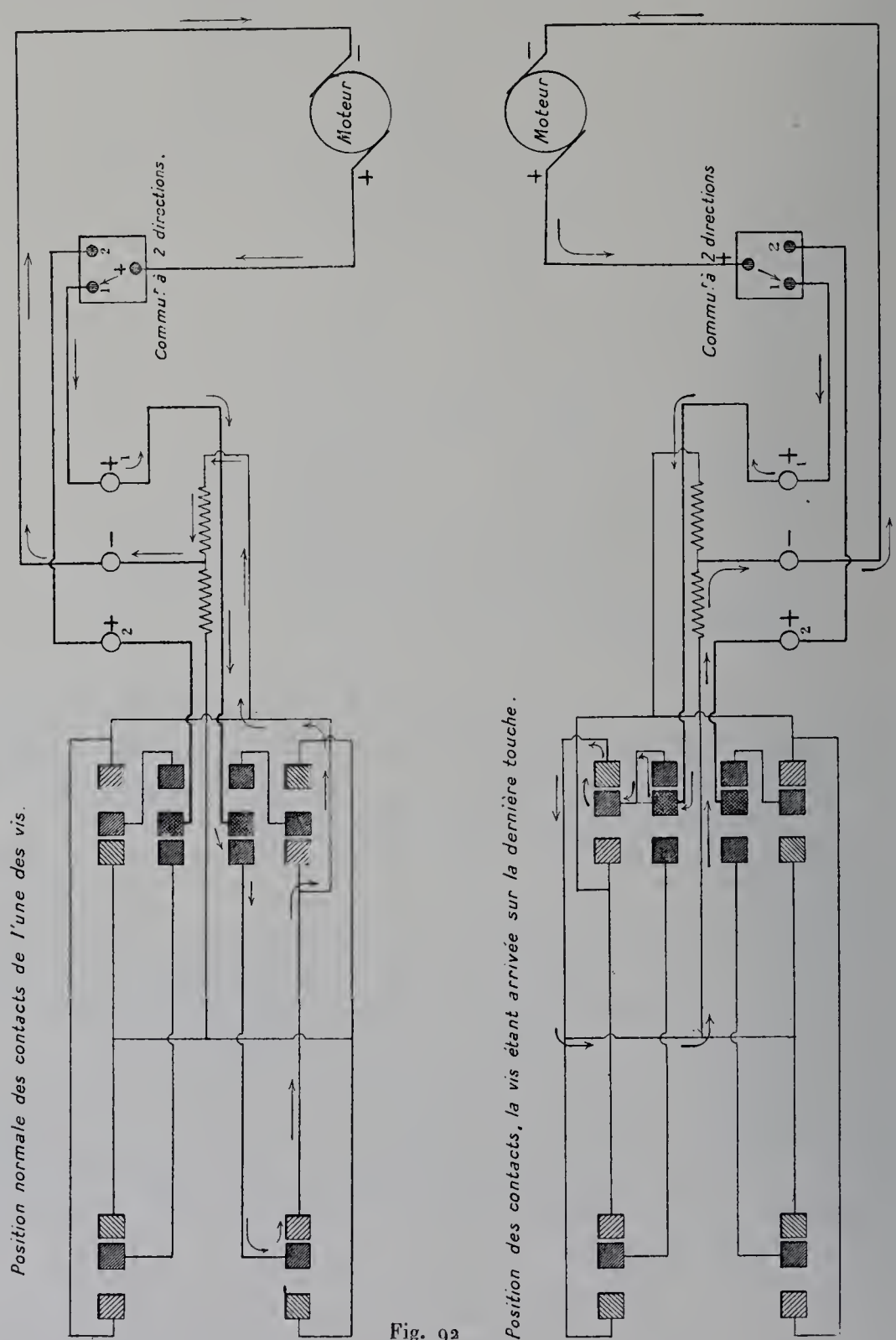


Fig. 92

du réducteur. En même temps, un voltmètre, commandé par un commutateur à deux directions C V, donne à chaque instant le voltage, c'est-à-dire le nombre d'éléments en service.

Un commutateur de marche en avant et de marche en arrière, CM, permet de faire tourner le moteur dans un sens ou dans l'autre, et par conséquent de faire avancer ou de faire reculer les écrous portant les balais.

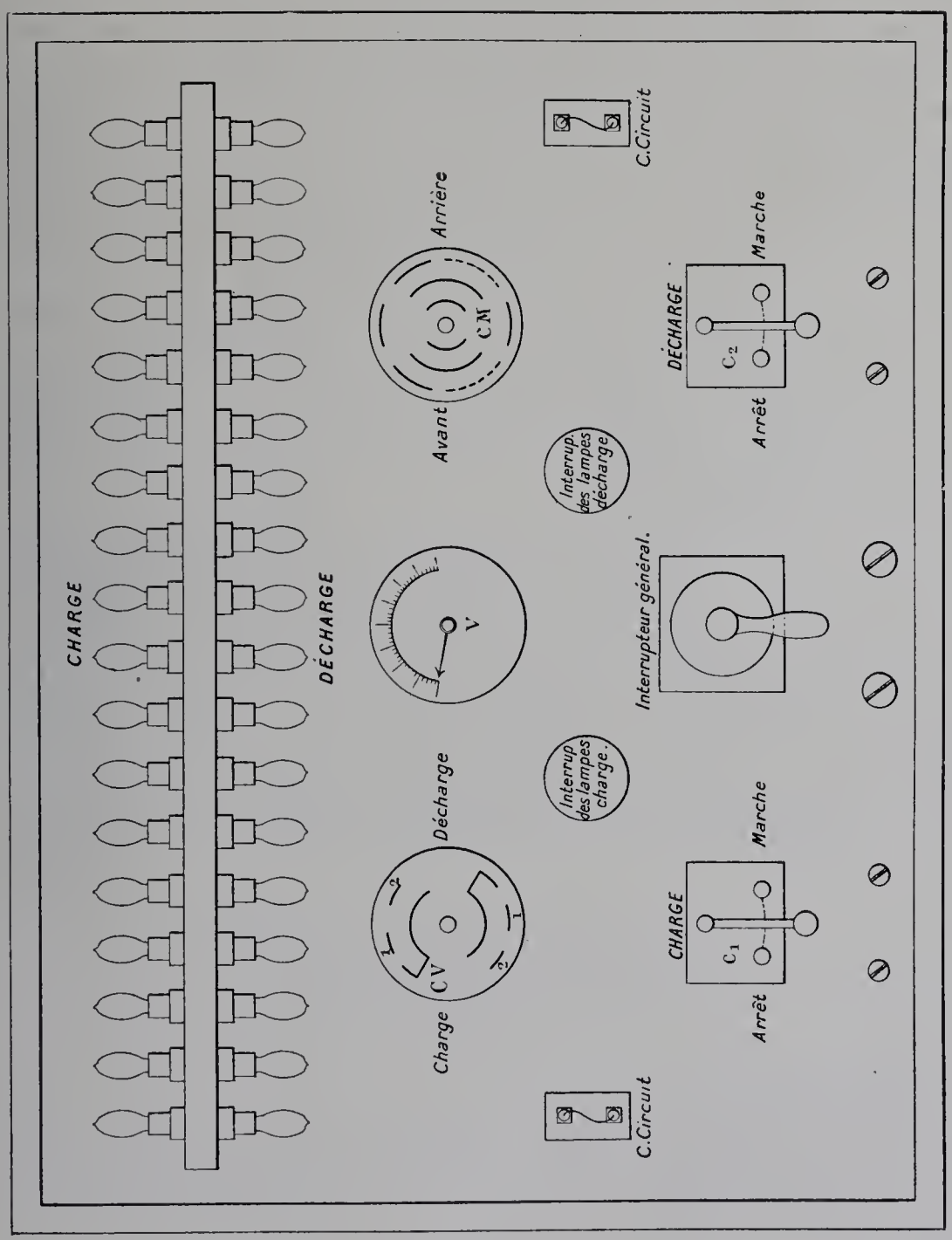


Fig. 93.

A la partie inférieure du tableau se trouvent deux commutateurs à deux directions, c_1, c_2, correspondant à la charge et à la décharge et qui peuvent envoyer le courant dans une bobine ou dans l'autre, ce qui permet d'obtenir l'embrayage ou le débrayage de la vis instantanément.

Une sonnerie placée au-dessus du tableau indique le moment où le balai étant sur le dernier plot fait manœuvrer l'inverseur, par suite l'arrêt de l'appareil, et la nécessité de changer le sens de la marche du moteur.

Manœuvre du tableau pour le fonctionnement du réducteur double de charge et de décharge. — Le circuit étant fermé par l'interrupteur général, le moteur est mis en mouvement, soit en avant, soit en arrière, au moyen du commutateur de mise en marche CM; à l'aide de l'un des commutateurs à deux directions c_1 ou c_2 placés à la partie inférieure du tableau, celui de la charge, c_1 par exemple, on produit l'embrayage de l'une des vis du réducteur, et les balais prennent contact successivement sur toutes les touches correspondant aux différents bacs d'accumulateurs.

Cette vis est arrêtée au moyen du même commutateur à deux directions c_1 en plaçant la manette dans la position du débrayage, le moteur restant en mouvement.

Si l'on veut arrêter ce dernier, la manette du commutateur de mise en marche CM doit être ramenée au point de repos. La lampe-témoin restée allumée indique le dernier élément en circuit et le commutateur de voltmètre CV permet également de mesurer le voltage de la batterie.

Dans le cas où le débrayage n'aurait pas été opéré et que la vis continuerait à tourner entraînant les balais jusqu'à la dernière touche, la lampe rouge extrême s'allume et la sonnerie se fait entendre; l'appareil s'est arrêté automatiquement.

Pour le remettre en marche, il faut d'abord inverser le sens de marche du moteur, puis ramener l'aimantation dans la bobine d'embrayage en manœuvrant le commutateur c_1; l'appareil s'arrêtant à nouveau au moment où l'inverseur reprend sa position normale, la manette du commutateur c_1 doit être replacée également dans sa position première, ce qui assure la marche régulière de l'appareil.

II. RÉDUCTEUR-ADJONCTEUR AUTOMATIQUE DE BATTERIES D'ACCUMULATEURS.

(Système G. Schneider, Actiengesellschaft vormals Joh. Jacob Rieter und C°, à Winterthur.)

Cet appareil a pour but :

1° De maintenir constante la tension d'un réseau de force ou d'éclairage, ce réseau étant soumis à des variations de charge et alimenté par une batterie d'accumulateurs;

2° De soustraire du circuit de charge les éléments de batterie dont la charge est complète.

Dans ce réducteur, la première de ces opérations s'effectue automatiquement, tandis que la deuxième est ordinairement prévue pour un réglage à la main. A cet effet, l'appareil possède deux mécanismes de contact, l'un pour la charge C, l'autre pour la décharge C′, travaillant tous les deux sur une même série de contacts.

Le fonctionnement automatique de l'appareil a lieu d'après le principe suivant:

Par suite d'une variation de voltage sur le réseau, un petit moteur électrique M est

mis en mouvement par l'intermédiaire d'un voltmètre de contact V et d'un relais R, et les dispositions sont prises pour que le sens de rotation du moteur varie suivant que la tension du réseau est supérieure ou inférieure à la normale. Ce moteur commande directement une tige filetée T; par la rotation de cette tige, le mécanisme de contact glisse sur la surface polie du registre de contacts et opère ainsi la mise en circuit ou hors circuit des éléments de la batterie.

Voltmètre de contact. — Cet appareil se compose (fig. 94) d'un solénoïde S, enroulé en dérivation sur le réseau. Un noyau de fer doux F peut se mouvoir suivant l'axe vertical de ce solénoïde et porte, vers sa partie inférieure, une rondelle de contact *r*.

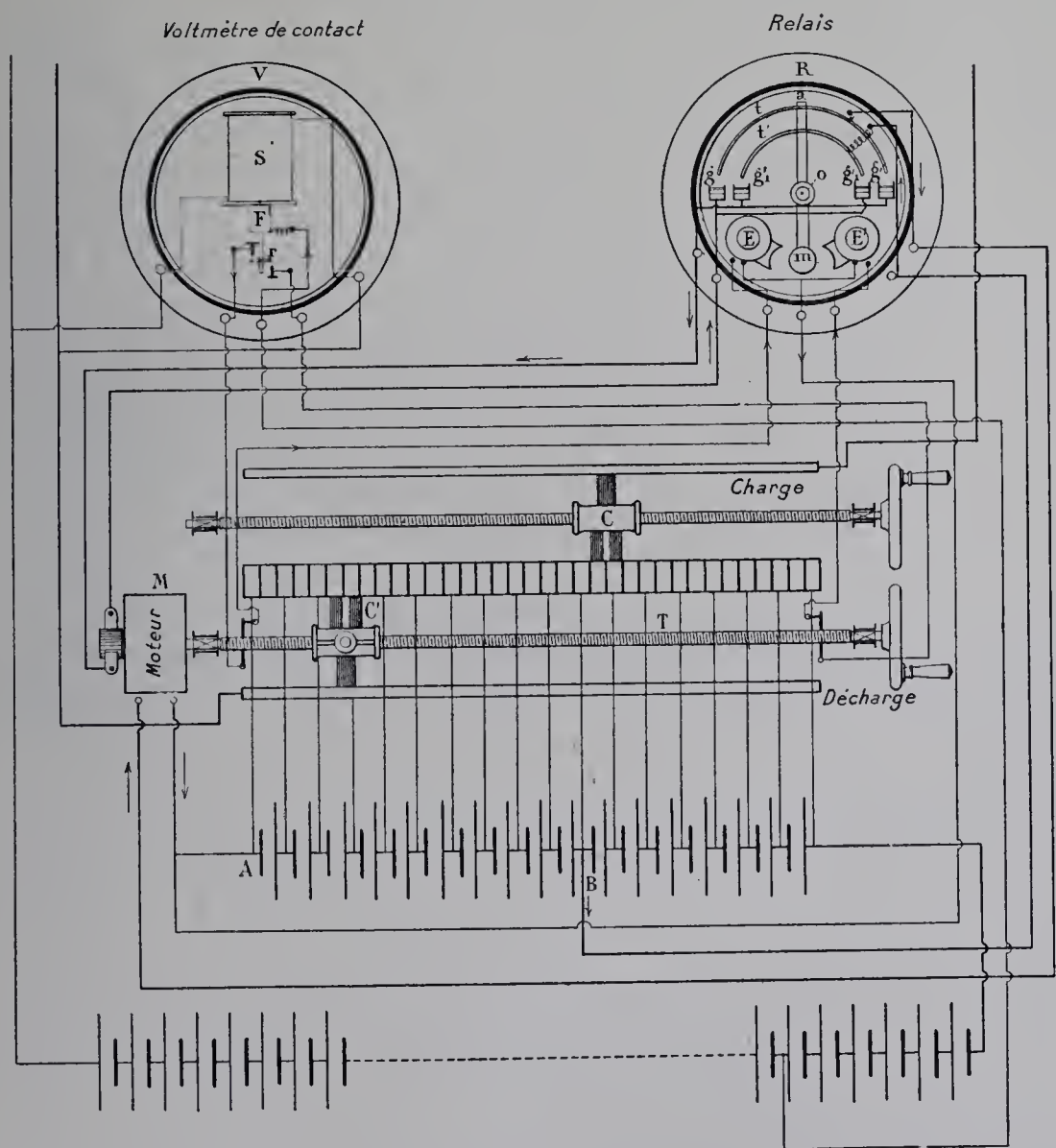


Fig. 94.

Cette rondelle permet de fermer le circuit de l'un ou l'autre des deux électros du relais selon que la différence de potentiel du réseau est supérieure ou inférieure à la valeur normale.

Relais. — Le relais R, commandé par le voltmètre de contact, établit le courant dans le moteur M de façon à obtenir le sens de rotation convenable.

Pour cela, deux pôles de la batterie A et B sont réunis à deux tiges t, t' en forme d'arc, et pouvant osciller autour de l'arc O. Ces deux tiges sont isolées électriquement. L'arc a, m, qui les rend solidaires, porte à l'extrémité inférieure une boule m, en fer. Celle-ci peut être attirée par l'un des deux électros E, E' excité par l'intermédiaire du voltmètre de contact, lorsque la différence de potentiel du réseau est supérieure ou inférieure à la valeur normale.

Chacun des deux balais du moteur est réuni électriquement à deux godets g, g' et g_1, g_1', remplis de mercure et situés de part et d'autre du centre O.

Le circuit du moteur se ferme donc par l'intermédiaire des godets g, g' ou g_1, g_1'.

Moteur. — Le moteur est excité en série; mais l'excitation ne change pas de sens, quoique, par l'intermédiaire du relais, le courant change de sens dans l'induit.

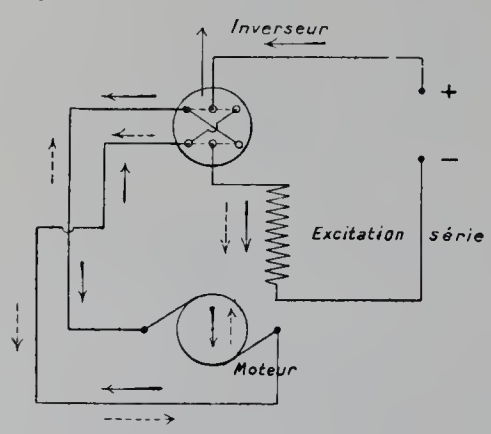


Fig. 95.

Schématiquement, le dispositif employé est représenté par la figure 95. On voit facilement qu'en plaçant l'inverseur à droite ou à gauche, l'excitation ne change pas de sens et qu'il n'en est pas de même du courant dans l'induit.

Le moteur est bipolaire; les inducteurs sont au centre, et l'induit, en forme d'anneau, tourne extérieurement. La disposition du collecteur est semblable à celle des dynamos ordinaires.

Appareil de contact. — La mise en circuit ou hors circuit des éléments de la batterie doit s'effectuer de manière à ce que les brosses du chariot de contact ne reposent jamais simultanément sur deux touches voisines, que pendant un temps très court. S'il en était autrement, l'élément inséré entre les deux touches, étant mis en court circuit, serait vite endommagé.

Cet appareil permet de parer à cet inconvénient d'une manière simple et pratique.

Le passage de la brosse du milieu d'une touche de contact au milieu de la suivante, en avant ou en arrière, s'effectue au moyen d'un système à déclic mû par un ressort à boudin.

Admettons, par exemple, que la tension du réseau soit inférieure à la normale: le moteur est alors mis en mouvement par l'intermédiaire du voltmètre de contact et du relais; le ressort à boudin est tendu, tandis que la brosse de contact reste sur sa touche; si la différence de tension s'accentue, le moteur est alors en mesure de tendre le ressort jusqu'à la position limite où a lieu le déclenchement du ressort et, par suite, le passage des brosses à la touche suivante.

On introduit ainsi un nouvel élément dans le circuit de la batterie, et la tension du réseau est augmentée de la tension d'un élément.

Si, pendant qu'a lieu la tension du ressort, le voltage du réseau se rapprochait de la

valeur normale, le moteur tendrait à prendre sa position de repos, le ressort resterait tendu et la brosse de contact resterait sur sa touche.

JEUX D'ORGUES POUR THÉÂTRE.

Parmi les applications si variées auxquelles se prête la lumière électrique, il n'en est peut-être pas qui présente plus de difficultés et plus d'exigences que l'éclairage des théâtres; indépendamment des mesures de sécurité générale qu'il faut prendre là plus que partout ailleurs, le problème se complique beaucoup par la nécessité d'obtenir des jeux de lumière extrêmement variés, et quant à l'intensité, et quant à la couleur, en des parties très différentes de l'édifice (salle, scène, coulisses, portants, soffites, rampes). La méthode très simple, en principe, pour régler l'intensité d'un groupe de lampes, consiste à introduire dans le courant qui alimente ce groupe une résistance réglable, sinon d'une façon continue, au moins par degrés très petits; la difficulté et l'habileté du constructeur consistent à grouper dans un très petit espace tous les appareils de manœuvre de ces rhéostats, de façon qu'une seule personne puisse les manœuvrer; un tel système a reçu le nom (qui lui a été légué par l'industrie du gaz) de *jeu d'orgue;* on le place en général soit à côté du souffleur, soit derrière les proscenium, de façon que l'homme qui le manœuvre puisse apercevoir lui-même les effets qu'il produit. Souvent, par mesure de sécurité, on cherche à éloigner le plus possible les résistances, qui peuvent chauffer, du jeu d'orgue proprement dit; on est amené ainsi à transmettre le mouvement à distance des leviers de manœuvres aux touches du rhéostat. Cette transmission peut se faire soit mécaniquement, soit électriquement. D'autre part, si chaque groupe de lampes doit pouvoir être réglé séparément, il peut se présenter des cas où l'on a à soumettre à un même réglage tout un ensemble de lampes; nous trouverons donc des dispositions permettant, lorsque cela est nécessaire, de rendre solidaires les leviers de réglage de plusieurs groupes de lampes. Pour les éclairages colorés, on emploie en général trois groupes de lampes (blanches, rouges et bleues), et on passe de l'un à l'autre par diminution progressive d'intensité d'un côté et augmentation progressive d'intensité de l'autre.

Trois sociétés exposaient d'importants modèles de jeux d'orgues, ce sont :

1° La Compagnie générale des travaux d'éclairage et de force (France);

2° La Société Siemens et Halske, de Berlin (Allemagne);

3° La Société Siemens et Halske, de Vienne (Autriche).

Outre ces appareils importants, avec transmission des manœuvres à distance, nous avons eu occasion d'examiner des appareils plus simples, sans commande à distance, exposés par Iron clad resistance C° et Ward Leonard C° (États-Unis).

Nous décrirons seulement les appareils de la Compagnie générale des travaux d'éclairage et de force et ceux de la Société Siemens et Halske, de Vienne; ceux de la Société de Berlin sont presque identiques.

I. **Jeu d'orgue à transmission mécanique de la maison Siemens et Halske.** — Chaque circuit partant de la dynamo génératrice comprend, outre la dynamo et le groupe de lampes, un rhéostat T, subdivisé en un très grand nombre de sections convenablement calculées (fig. 96).

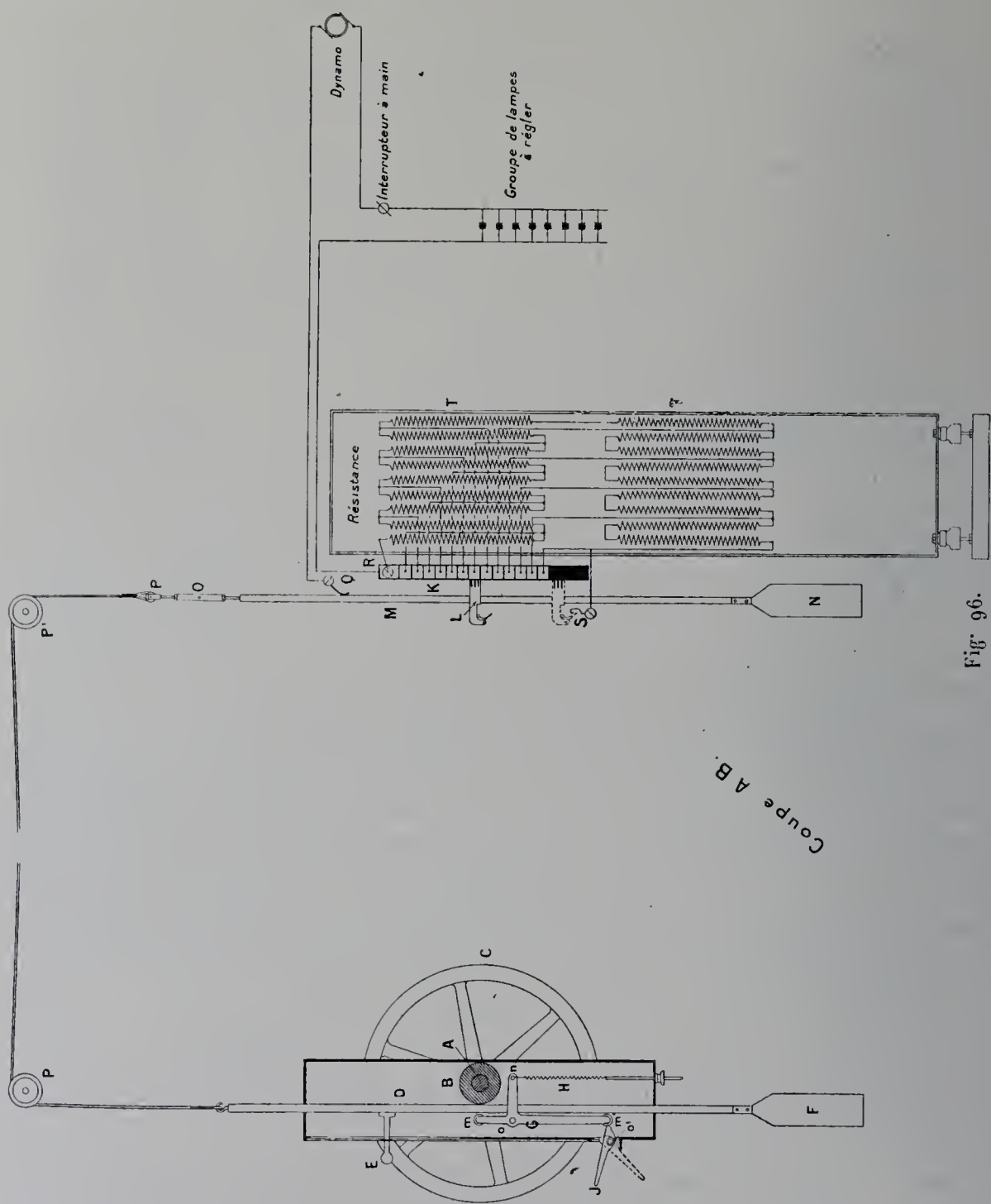


Fig. 96.

Chaque section est réunie à un plot d'un registre de contacts K. Un curseur L porté par la tige M peut prendre le contact en un quelconque de ces plots et intercaler ainsi une résistance variable dans le circuit des lampes. Lorsqu'un groupe de lampes comprend trois séries de lampes de couleurs différentes, le même rhéostat, avec trois

registres de plots et trois curseurs, sert au réglage des trois séries : il en résulte une économie notable de matière.

La tige M peut être manœuvrée à distance par une transmission mécanique ; pour cela, cette tige, équilibrée par un contre-poids N, est reliée par une attache isolante à une cordelette d'acier qui passe sur les poulies P et P′ ; cette cordelette s'attache d'autre part à une tige verticale D équilibrée aussi par un contre-poids F. Cette tige peut être manœuvrée au moyen de la manette E. Une série d'appareils semblables sont placés les uns à côté des autres, toutes les tiges verticales étant parallèles entre elles et indépendantes les unes des autres. D'ailleurs, comme en certains cas il peut être nécessaire de rendre solidaires les réglages de plusieurs groupes de lampes, on y arrive de la manière suivante : un levier G, en forme de ⊢, porte aux deux extrémités de sa branche verticale deux molettes *m* et *m′*, et sa branche horizontale est sollicitée par un ressort H ; en temps normal, un levier J tient la molette supérieure écartée de la tige H. Lorsqu'on abaisse le levier J, la force du ressort H vient appliquer fortement la molette *m* contre la tige verticale H, et celle-ci contre l'arbre B qui court horizontalement tout le long de l'appareil et peut être commandé par le volant C : ainsi toutes les tiges appliquées contre cet arbre en sont rendues solidaires par fixation, et peuvent être ainsi manœuvrées simultanément.

II. **Jeu d'orgue à transmission électrique (système Clémançon), de la Compagnie générale des travaux d'éclairage et de force.** — La commande à distance des rhéostats de réglage étant imposée dans bien des cas, il était naturel, pour franchir des distances un peu considérales, d'utiliser une transmission électrique : c'est ce qu'a fait la Compagnie générale des travaux d'éclairage et de force au moyen d'un système fort ingénieux que nous allons décrire maintenant.

Le rhéostat se compose d'un fil métallique enroulé en zig-zag à la périphérie d'un tambour ; la partie inférieure de ce tambour baigne dans un vase H contenant du mercure, et la longueur du fil utilisé, et par suite de la résistance introduite dans le circuit, est réglée par la rotation du tambour : c'est donc cette rotation qu'il faut produire à distance, dans un sens ou dans l'autre, et limiter à des fractions déterminées de tour ; dans la pratique, c'est par huitièmes de tour successifs que le tambour tourne dans un sens ou dans l'autre.

Le mouvement de ce tambour est commandé par un moteur E (fig. 97), à excitation séparée prise directement sur la distribution. Les changements de sens de rotation de ce moteur seront donc obtenus par le renversement des pôles de l'induit ; les arrêts seront obtenus uniformément, non par la rupture du courant, mais par la mise en court-circuit de l'induit qui, comme on le sait, produit un arrêt presque rigoureusement instantané ; une résistance de protection *r* empêche, dans tous les cas, le courant de prendre une intensité dangereuse.

Dans son mouvement de rotation, le rhéostat entraîne un ressort B qui vient en contact successivement, à chaque huitième de tour, avec les plots 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,

8, qui sont en relation, par autant de fils, avec des plots correspondants du manipulateur; dès que le ressort B rencontre un certain plot dont le numéro d'ordre est déterminé par la position du manipulateur, le moteur est mis en court-circuit et le rhéostat se fixe instantanément.

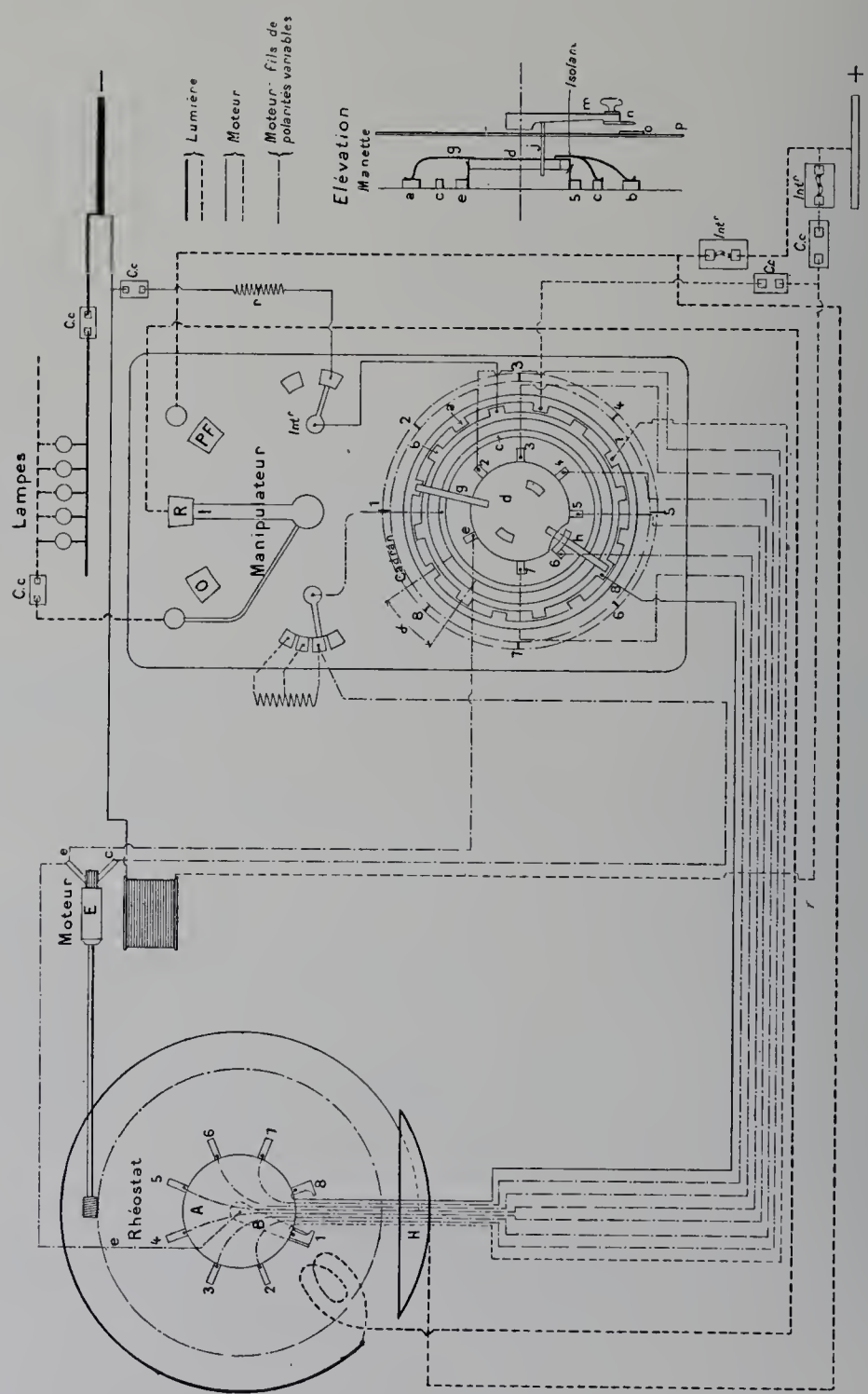


Fig. 97.

Reste maintenant à obtenir le mouvement du moteur dans un sens ou dans l'autre : pour cela, les deux pôles de la distribution aboutissent à deux couronnes polaires *a* et *b*, présentant chacune huit saillies entrecroisées, de sorte que deux saillies consécutives (appartenant à deux pôles différents) sont séparées par un angle de $\frac{1}{16}$ de circon-

férence. Les deux pôles de l'induit, de leur côté, aboutissent au plateau *d* et à la couronne *c*. Deux bras métalliques *g* et *h* portés par le plateau *d*, dont l'un *g* communique avec ce plateau et l'autre *h* en est isolé, permettent de mettre en communication respectivement les deux pôles de l'induit. Le plateau *d* est commandé par une manette *m* qui a, par rapport à ce plateau, un jeu de $\frac{1}{16}$ de circonférence, en sorte qui si on le tourne dans un sens, par huitième de tour successif, le premier mouvement du plateau *d* n'est que de $\frac{1}{16}$ de tour, et la polarité de moteur a un certain sens; si on change le sens de rotation de la manette, de nouveau le premier mouvement du plateau n'est que de $\frac{1}{16}$ de tour, et la polarité de moteur change : ainsi le sens de rotation de moteur suit le sens de rotation de la manette. Cette explication, suffisante pour montrer la marche générale de l'appareil, est incomplète en ce que nous n'avons pas tenu compte des courts-circuits d'arrêt de moteur, courts-circuits provoqués aussi par le bras *h* (qui a ainsi une double fonction), mais une étude attentive du schéma suffit pour se rendre compte du jeu complet de l'appareil.

APPENDICE.

LES BRONZES D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

Pour la première fois, en 1900, les bronziers exposaient une partie de leurs produits dans la classe de l'éclairage électrique; une grande étendue des galeries du premier étage était occupée par cette exposition; ce fait seul prouve que l'attention des arts industriels se porte du côté de ces applications nouvelles. Au lieu de vouloir contraindre de force les modèles pour l'éclairage au gaz à s'adapter à l'éclairage électrique, les bronziers commencent à comprendre le merveilleux parti que l'on peut tirer de l'ampoule électrique pour la marier à des motifs décoratifs qui soient en harmonie avec sa nature et ses qualités propres.

Le Jury, tout en reconnaissant comme il convient ces efforts et ces succès, désira, pour l'appréciation exacte de la valeur des objets exposés, s'adjoindre, à titre d'expert, un homme dont la compétence fut reconnue dans ce domaine tout à fait étranger à la science et à l'industrie électriques. Son choix se porta sur M. Th. Millet, dont on a pu admirer l'exposition aussi bien dans la Classe 25 que dans la Classe 97. Nous considérons donc qu'il sortirait de notre rôle de parler ici, malgré tout son intérêt, de cette partie de l'exposition de la Classe 25; nous renverrons pour ce sujet au rapport de la Classe 97. Nous nous bornerons à nommer les exposants suivants :

EXPOSANTS HORS CONCOURS.

MM. Bengel, Fumière et Gavignot, Th. Millet et Vian.

GRANDS PRIX.

MM. Soleau (France), Lacarrière et Cie (France).

MÉDAILLES D'OR.

MM. Gagneau, Mottheau et fils, Raingo frères, Guinier (France); Benson et Cie (Grande-Bretagne), Candiani et Cie (Italie); Jean et Bouchon, Lapointe, Aumeunier et Cie (France).

Nous devons une mention toute particulière à M. Soleau, qui a tiré un parti remarquable pour la décoration des guirlandes de lampes à incandescence sphériques de grandeur décroissante à partir du centre et associées en tension, et des fleurs en argent vierge émaillé servant de réflecteur.

Au point de vue de l'éclairage public, nous avons remarqué les bronzes de MM. Lacarrière et Cie, et en particulier les grands lampadaires du pont Alexandre III.

Dans les sections étrangères, nous signalerons les candélabres pour lampes à arc de « Hecla Iron Works » (États-Unis), qui éclairaient la galerie de l'Électricité (sections

étrangères)[1]. Ces candélabres avaient été dessinés par M. Malcolmsom, ingénieur du groupe américain.

Nous devons enfin une mention, en dehors de l'industrie du bronze, aux maisons Salviati (Italie) et Tiffany (États-Unis), qui, dans des genres très différents, ont tiré un parti remarquable du verre pour les appareils d'éclairage. Ces maisons sont trop connues, à d'autres points de vue, pour que nous insistions ici davantage.

[1] Ces galeries n'avaient pu être éclairées par lampes suspendues à cause du grand pont roulant de la section allemande, dont la forme épousait exactement celle du faîtage.

CONCLUSIONS.

L'éclairage électrique pratique ne date guère que de vingt à vingt-cinq ans; l'Exposition de 1900 doit donc être considérée comme marquant la deuxième partie du chemin dont l'Exposition de 1889 avait été la première étape. Si ces deux périodes sont égales en durée, elles sont loin de présenter le même caractère : la première nous montre l'éclosion si féconde des deux principaux systèmes d'éclairage électrique, l'arc et l'incandescence. Dans cette première période, on ne s'arrête pas aux détails : qu'importe la dépense d'une lampe à incandescence, puisqu'on n'a pas encore de point de comparaison et qu'au surplus, devant les merveilleux avantages de la lumière électrique, on oublie tout le reste; qu'importent les légers défauts de l'arc, scintillement, teinte violacée et changeante, devant la puissance et l'éblouissement des effets obtenus; qu'importe enfin un mode de tarification plus ou moins défectueux de l'énergie électrique, pourvu que les installations soient simples et les stations centrales assez confiantes pour accepter le contrat par forfait avec leurs clients? Tel était à peu près l'état des esprits à la fin de la première période; depuis, dans cette branche comme dans les autres, de l'industrie électrique, les efforts se sont rassis, l'âge mur est arrivé : au point de vue de la tarification, on ne s'est plus contenté de l'antique forfait, qui avait son bon côté, mais n'était guère conforme à nos habitudes modernes. De ce besoin sont nés les compteurs, qui étaient bien peu représentés en 1889 et dont on a pu, en 1900, admirer la variété, l'ingéniosité, la précision, la simplicité. On peut affirmer, et cela résulte des très nombreuses mesures que nous avons faites à ce sujet, que le compteur électrique est un appareil de précision, bien supérieur au compteur à gaz, admis par tout le monde, et que l'on doit avoir la plus grande confiance dans ses indications, pourvu, bien entendu, qu'il soit bien entretenu et bien réglé; il n'est pas inutile d'affirmer très nettement ce fait devant le scepticisme que l'on rencontre quelquefois à ce sujet : nous considérerons l'un de nos buts comme atteint si la lecture de la première partie de ce rapport peut contribuer à détruire ce scepticisme.

En ce qui concerne l'arc, sous l'impulsion des exigences de plus en plus grandes du public, le réglage des lampes est devenu de plus en plus délicat et précis, tout en gagnant en simplicité et en rusticité; double avantage, dont l'un exclut l'autre trop souvent. En même temps, la qualité des charbons s'est améliorée, et l'on devine, derrière les produits qui nous ont été présentés, de longues et patientes recherches vers le mieux.

Par ces progrès, la lumière est devenue plus stable et plus économique, et l'on a oublié aujourd'hui ces extinctions intermittentes, que l'on pardonnait à l'enfance de l'éclairage électrique, mais qu'on ne tolérerait plus à présent.

Deux autres inconvénients subsistaient : 1° la nécessité, pour avoir une bonne lu-

mière, de perdre inutilement, dans des résistances inertes, près du tiers de l'énergie électrique dépensée; 2° l'obligation de changer périodiquement, tous les jours en général, les charbons, ce qui entraîne une importante dépense de main-d'œuvre dans les installations un peu considérables.

Bien que l'ancien système soit encore de beaucoup le plus répandu, la suppression des résistances inertes par la marche de 3 lampes en série au lieu de 2 sur 110 volts, d'une part, et, de l'autre, la découverte des lampes en vase clos et à combustion lente, permettent la suppression ou l'atténuation de ces inconvénients; mais, si la marche par 3 lampes en série amène une économie notable, les lampes en vase clos, au contraire, ont une consommation beaucoup plus grande, qui va jusqu'à atteindre presque celle des lampes à incandescence. Il est bien intéressant d'observer combien ces caractères opposés des deux inventions ont influé sur les régions du monde où elles se développent : la première est une invention de gens qui veulent avant tout économiser le courant sans cependant rien sacrifier sur la qualité irréprochable de la lumière; elle a pris naissance en Europe, et ne commence guère à s'appliquer que dans les grandes villes où le prix de l'énergie électrique est fort élevé; la seconde est une invention de gens pressés, qui préfèrent dépenser un peu plus pour leur éclairage, avoir même une lumière moins agréable et plus violacée, mais qui, avant tout, redoutent la main-d'œuvre dépensée pour le remplacement des charbons et l'entretien des lampes; c'est dire qu'elle s'est développée en Amérique avec une rapidité et une intensité qui nous étonnent, et qui montrent combien l'on risque de se tromper lorsqu'on juge un système sur un seul ordre de considérations.

En ce qui concerne l'incandescence, les progrès ont été surtout des artifices et des tours de main de fabrication qui ont fini par abaisser à une valeur infime le prix de revient de l'ampoule bien connue n même temps, le rendement lumineux s'améliorait dans des proportions notables.

Deux nouveautés seulement ont attiré notre attention : dans le domaine de l'arc, la lumière Bremer, et dans celui de l'incandescence, la lumière Nernst; encore cette dernière n'est-elle que la reprise et le perfectionnement d'une ancienne invention de Jablochkoff qui, dès 1878, l'avait étudiée concurremment avec celle de ses bougies bien connues; on sait comment ces dernières seules ont abouti à une application industrielle qui a eu la plus heureuse influence sur le développement de l'éclairage électrique.

La lumière Bremer et la lumière Nernst, que nous avons étudiées l'une et l'autre dans ce rapport avec tout le soin qu'elles méritaient, constituent toutes deux des inventions de haute valeur; mais la pratique ne les a pas encore sanctionnées.

IMPRIMERIE NATIONALE.

CLASSE 26

Télégraphie et téléphonie

RAPPORT DU JURY INTERNATIONAL

PAR

M. SÉLIGMANN-LUI

INGÉNIEUR DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

SOUS-DIRECTEUR DES SERVICES ÉLECTRIQUES DE LA RÉGION DE PARIS

COMPOSITION DU JURY.

BUREAU.

MM. Raymond (Léonard), Administrateur honoraire des Postes et des Télégraphes (médaille d'or, Paris 1889; président des comités, Paris 1900), *président*..... France.

Kolvig (F.), Chef du service de la Compagnie des Télégraphes du Nord, membre de l'«Institute of electrical Engineers», *vice-président*..... Danemark.

Séligmann-Lui (Gustave), Ingénieur des Postes et des Télégraphes, Sous-Directeur des services électriques de la région de Paris, *rapporteur*.... France.

Champion de Nansouty (Max), Ingénieur des Arts et Manufactures, ancien membre du comité de la Société internationale des électriciens, directeur de *la Vie scientifique* (comités, Paris 1900), à Asnières (Seine), *secrétaire*. France.

JURÉS TITULAIRES FRANÇAIS.

MM. Darcq (Édouard), Inspecteur général des Postes et des Télégraphes (comités, Paris 1900)..... France.

Mercadier (Ernest), Directeur des études à l'École polytechnique, professeur à l'École professionnelle supérieure des Postes et des Télégraphes (comités, Paris 1900)..... France.

Weiller (Lazare), conducteurs électriques (médaille d'or, Paris 1889; comité d'admission, Paris 1900), à Angoulême (Charente), au Havre (Seine-Inférieure)..... France.

Willot (Joseph-Émile-Louis), Inspecteur général des Postes et des Télégraphes, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise)..... France.

Wunschendorf (Eugène), Inspecteur général des Postes et des Télégraphes (comité d'admission, Paris 1900)..... France.

JURÉS TITULAIRES ÉTRANGERS.

MM. Anthony (James S.), expert..... États-Unis.

Gavey (John), membre de l'Institut des Ingénieurs civils de Londres.... Grande-Bretagne.

Semenza (Guy), Ingénieur..... Italie.

JURÉ SUPPLÉANT FRANÇAIS.

M. Guillebot de Nerville (Ferdinand), Ingénieur des Télégraphes, professeur à l'École professionnelle supérieure des Télégraphes (rapporteur des comités, Paris 1900)..... France.

JURÉS SUPPLÉANTS ÉTRANGERS.

MM. le docteur Lobach..... Allemagne.

Roosen (A.), Ingénieur des Télégraphes, à Bruxelles..... Belgique.

Rasmussen (Einar), Directeur des Télégraphes..... Norvège.

Ericsson (Knut), Inspecteur général des Téléphones..... Suède.

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE.

Les objets exposés à la Classe 26 rentrent dans trois groupements principaux : le matériel des lignes, les appareils télégraphiques, les appareils téléphoniques.

MATÉRIEL DES LIGNES.

La plupart des grandes lignes électriques qui, dans le monde entier, servent à la transmission des télégrammes, continuent d'être constituées par des fils aériens : on y trouve des avantages, non seulement de commodité et d'économie, mais aussi d'ordre technique, par la capacité électrostatique très basse de ces conducteurs. Cette dernière condition, jusqu'ici, est restée impérative, s'il s'agit de téléphonie à longue distance.

Mais l'emploi du fer, longtemps exclusif pour ces constructions, tend de plus en plus à se restreindre aux lignes les plus courtes ou desservies par les appareils les plus lents: si la longueur du parcours ou la rapide succession des émissions des courants à transmettre fait d'une résistance spécifique réduite une qualité désirable, on recourt au cuivre affiné par les procédés les plus parfaits de la chimie et de l'électrolyse. Au début de cette transformation, les cuivres dits *de haute conductibilité* accusaient une résistance spécifique de 1,750 microhm; ils n'étaient guère employés que sous de petits diamètres de façon à donner, sans charger les appuis, l'équivalent, ou à peu près, des conducteurs en fer les plus lourds en usage à cette époque (5 à 5 1/2 millimètres de diamètre). Mais peu à peu les calibres ont été accrus, ils atteignent maintenant et dépassent ce que l'on avait fait antérieurement de plus fort ; en même temps, les résistances spécifiques sont tombées à 1.70 et 1.68 microhm, si bien que des lignes se rencontrent maintenant en assez grand nombre qui n'offrent pas plus de 0.57 ohms au kilomètre, dix fois moins résistantes que les meilleurs fils des anciens réseaux, avec une capacité qui ne dépasse pas, relativement à la terre, 0.01 microfarad. La résistance mécanique à la rupture est d'environ 38.2 kgms par millimètre carré.

Lorsque des circonstances spéciales obligeaient de rechercher une résistance mécanique plus forte, on se servit d'abord de bronzes à faible teneur de substance alliée, permettant d'obtenir jusqu'à 70 et 75 kgms par millimètre carré, avec une conductibilité encore deux ou trois fois supérieure à celle du fer. Dans un très grand nombre de villes, pour les lignes des réseaux téléphoniques, le fil de bronze de petit diamètre se substitua à l'acier, qu'il fallait employer sous des sections plus grosses, fatigantes pour les appuis, et qui néanmoins se corrodait trop vite, malgré la galvanisation, par les intempéries et les fumées acides.

Ce fut donc un progrès réel quand, par l'amélioration des procédés de laminage, on réussit à associer en un même fil deux métaux différents, l'un formant gaine ou enveloppe cylindrique autour de l'autre, sans alliage ni altération chimique quelconque, en sorte que chacun des éléments associés conservât dans le produit complexe ses qualités propres. L'idée, en soi, n'était pas neuve, mais la façon de la réaliser, qui excluait les défauts des essais antérieurs, l'irrégularité d'épaisseur, les gerces, la tendance au décollement de la couche externe.

Toutefois les outillages perfectionnés, les procédés ingénieux, les tours de main par lesquels de semblables produits sont obtenus couramment, ne peuvent guère se montrer en dehors des usines; et, d'autre part, nombre d'exposants avaient préféré s'inscrire aux groupes de la Métallurgie, qui permettaient de rapprocher à plaisir dans un même étalage les fabrications de l'aspect le plus différent, ou même aux autres classes de l'électricité où la grosse dimension des conducteurs employés et la variété de leurs formes se prêtaient mieux à un déploiement parlant aux yeux. Et, à ne juger les choses que par le petit nombre des maisons de ce genre portées sur la liste de la Classe 26, encore que ces maisons, fournisseurs ordinaires des administrations télégraphiques, comptassent toutes parmi les plus considérables de la spécialité, on ne se ferait point une idée juste de l'étendue des besoins à satisfaire, de la masse des matériaux consommés. Quelques mois avant l'ouverture de l'Exposition, dans les seuls pays de l'Union postale et aux États-Unis, le réseau des lignes télégraphiques de terre offrait un développement de près de 4,500,000 kilomètres; les fils téléphoniques aériens, moins exactement dénombrés, étaient évalués, au bas mot, à 1,500,000 kilomètres; le poids de métal utilisé dépassait de beaucoup 500,000 tonnes, et la valeur brute de métal, abstraction faite de tous frais de poses ou autres, montait au delà de 1 milliard.

Les récompenses accordées par le Jury témoignent assez de l'importance des industries consacrées à cette fabrication : deux des principales firmes françaises, les Établissements Lazare-Weiler et la Compagnie française des Métaux, se trouvant hors concours, des diplômes de grand prix ont été accordés : à l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, de Berlin (Allemagne); à la Compagnie Felten et Guilleaume, de Mühlheim (Allemagne); à l'American Steel and Wire Cy, de Worcester (États-Unis); à la Roebling's Sons Company, de Trenton (États-Unis); une médaille d'or à la Compagnie générale d'Électricité (établissements Mouchel), de Paris.

Il y a peu de changements à noter dans les procédés d'isolation des fils aériens : ce sont toujours des isolateurs de porcelaine, de terre cuite ou de verre, à simple ou à double cloche. La maison Pillivuyt et Cie, de Mehun-sur-Yèvre, en présentait des spécimens d'une pâte et d'une exécution parfaites. L'État Belge montrait aussi, parmi ses types réglementaires, quelques porcelaines blindées par une chemise en tôle d'acier embouti, plus légère et plus résistante que les cloches en fonte malléable. Mais il ne semble pas que, pour les courants toujours si faibles de la télégraphie, on ait, nulle part, jugé utile d'employer ou même d'essayer aucune des matières nouvelles ou des combinaisons complexes étudiées en vue des hautes tensions.

La confection des diverses ferrures — vis, boulons, colliers, entretoises, traverses, etc. — qui sont d'usage courant dans la construction des lignes aériennes, est devenue pour certaines usines une spécialité : la Patent Nut and Bolt Cy limited, de Birmingham (Grande-Bretagne), présentait une collection complète des accessoires de cette nature, qu'elle fabrique par quantités énormes pour le service de la métropole et des colonies.

D'autres firmes se sont attachées à construire le menu outillage nécessaire aux ouvriers des lignes aériennes : la maison Chouanard, de Paris; la Dicke Tool Company, de Downer's Grove (États-Unis); Klein and Son, de Chicago (États-Unis), présentaient dans ce genre des produits intéressants surtout par leur bonne exécution. M. Fontaine-Souverain fils, de Dijon, avait envoyé des échelles à coulisse et à transformation, pour la pose, à diverses hauteurs, des fils aériens, dont la simplicité et la sécurité ont paru dignes de remarque; un autre type d'échelle, destiné, celui-là, à atteindre des plus grandes hauteurs et se rapprochant du matériel d'incendie, était exposé par M. Leret, de Paris.

Le caoutchouc et la gutta-percha ont été longtemps les seules matières employées pour former le diélectrique des câbles souterrains ; mais le haut prix de ces gommes, montant à l'état brut jusqu'à 12 et 14 francs le kilogramme, leur altération très rapide dans des circonstances encore mal définies, la difficulté et les frais de la pose et des réparations; et, d'autre part, l'obstacle que la capacité électrostatique élevée de ces câbles offrait aux transmissions rapides, en avaient restreint l'emploi à la traversée des grandes villes, à l'établissement de quelques communications de secours, ressource précieuse en cas de perturbations atmosphériques, et, plus récemment, à la constitution de quelques réseaux téléphoniques importants. Ces applications mêmes avaient fait ressortir le besoin de quelque autre solution.

Le caoutchouc, en effet, est bien offert sur le marché en quantités considérables et en sortes suivies, provenant des exploitations de l'Amérique du Sud et des Indes; et, depuis quelques années, il s'y ajoute des apports de plus en plus importants en matières moins fines, susceptibles néanmoins d'un excellent emploi, originaires des régions nouvellement ouvertes de l'Afrique centrale. Mais le nombre des applications s'augmente aussi de jour en jour; il semble d'ailleurs qu'il règne, en télégraphie, une certaine prévention contre les conducteurs isolés au caoutchouc soit pur, soit vulcanisé, et leur emploi reste presque exceptionnel.

Pour la gutta-percha, d'autre part, et jusqu'à ces tout derniers temps, le commerce n'avait d'autres moyens de former des stocks que d'accumuler de petits lots de matière achetés un à un à des indigènes dans l'archipel malais : une denrée ainsi rassemblée, et malaisée d'ailleurs à apprécier exactement par son seul aspect, ne peut guère être bien homogène. Le procédé même par abattage, dans lequel un arbre d'une trentaine d'années fournit à peine un demi-kilogramme de suc coagulé, tendait d'ailleurs à tarir les sources de production, et par suite à rendre les arrivages plus irréguliers et plus rares, ou à en abaisser la qualité, les essences les meilleures ayant été recherchées et détruites

tout d'abord; et, à leur défaut, le marché devant se contenter des nombreuses variétés de gomme que produit la région, même de celles qui n'ont plus avec la véritable gutta-percha qu'une lointaine analogie. La télégraphie sous-marine, pour qui une avarie et une campagne de réparation comportent toujours des frais élevés et des risques redoutables, absorbant toujours, et à tous prix, ce qui, dans ces amas disparates, semblait offrir le plus de garanties, il ne restait, pour être employé sous forme de câbles souterrains, que des matières de second choix. Sans doute les fabricants essayaient de faire des mélanges, en vue de corriger l'un par l'autre les défauts des matières mélangées, et, dans une certaine mesure, ils réussissaient à composer des pâtes isolantes donnant, aux essais électriques, des résultats assez uniformes et d'apparence satisfaisants : mais le grand défaut de ces produits était qu'ils se conservaient mal; même dans des conditions de site relativement favorables, ils s'altéraient vite, subissant cette transformation résineuse où la masse, de molle et plastique, devient dure et friable, se gerce, se divise en une infinité de petits anneaux et finalement tombe en poussière.

Un progrès, dont l'avenir dira l'importance, a consisté dans l'introduction d'un procédé tout nouveau pour recueillir la gutta-percha. Au cours d'études faites dans les pays d'origine par l'auteur du présent rapport, puis par M. Sérullas, on avait reconnu la présence abondante dans les feuilles fraîches du même suc laiteux qui, à l'abattage, suinte des blessures faites à l'écorce de l'arbre, et d'où se sépare la gomme solide. M. le Professeur Jungfleisch, de l'École de Pharmacie de Paris, songea à rechercher si cette gomme ne subsisterait point concrétée dans les feuilles sèches, et si elle n'en pourrait être extraite par des dissolvants appropriés : le succès des expériences de laboratoire le conduisit à créer un procédé industriel, connu maintenant sous le nom de M. Sérullas, bientôt imité ou modifié de diverses manières, d'après lequel fonctionnent aujourd'hui des usines dans plusieurs pays. Les avantages d'une semblable méthode se conçoivent aussitôt : les plants entrant en période de rapport, non plus adultes et à vingt ou trente ans seulement, mais fort jeunes et à peine parvenus à hauteur de buissons, leur culture peut fructueusement être entreprise par les colons que rebutait jusqu'ici la nécessité d'une trop longue attente; l'arbre producteur continuant de vivre et de se développer malgré que l'on en recueille les feuilles fraîches ou tombées, et la récolte n'étant plus une destruction, il suffit de quelques pieds de repousses des bonnes espèces pour remettre sur le marché les belles qualités devenues si rares; le traitement à l'usine évitera d'ailleurs une bonne part des altérations ou des déchets inévitables dans l'extraction en forêt, le rendement se trouvera accrû ainsi que l'homogénéité du produit. La maison Houry et Cie, de Paris, présentait au Jury, outre une quantité d'objets fabriqués, des spécimens de cette gutta des feuilles, comparable, d'après son aspect, aux meilleurs types de gutta recueillie et épurée par les procédés habituels.

Un tel procédé, toutefois, ne pourrait manquer de restituer, en même temps que les qualités caractéristiques, les inconvénients propres de la gutta-percha, et notamment le pouvoir inducteur spécifique élevé, en raison duquel, depuis longtemps déjà, on s'est efforcé, surtout en vue de la téléphonie, de trouver quelque autre mode plus avanta-

geux d'isolation. Sans remonter à de plus anciens essais, il suffira de rappeler que, lors de la précédente exposition (1889), deux types de câbles à capacité réduite avaient déjà reçu des applications assez étendues : les lignes enfermées, dues à M. Fortin-Hermann, et les câbles Patterson. Les premières étaient constituées par des conducteurs garnis d'un revêtement continu de perles de bois paraffiné, assemblés en faisceau et renfermés dans des tubes de plomb : le revêtement de bois n'étant destiné qu'à empêcher le contact fortuit des conducteurs, l'isolement proprement dit des fils les uns des autres et de la terre était assuré par la couche d'air qui les enveloppait. En ce sens, il pouvait paraître désirable de diminuer l'étendue des surfaces par lesquelles le métal et le bois se trouvaient en contact, pour augmenter d'autant les espaces d'air : un bout de câble fort curieux, dû à M. Heilmann et compris dans l'exposition de la Société alsacienne de constructions mécaniques, paraît procéder de cette idée : chaque conducteur y est enfermé dans une sorte d'enveloppe prismatique formée de trois longs rubans de bois mince, strié transversalement à sa longueur. En bon état, le câble Fortin-Hermann offrait un isolement suffisamment élevé, 250 à 300 mégohms par kilomètre, et une capacité électrostatique fort basse relativement à celle des câbles en gutta, 0,07 à 0,08 microfarad; c'est cette qualité qui avait déterminé le service télégraphique français à en poser d'assez grandes longueurs, notamment à Paris, pour amener jusqu'au centre de la ville les lignes téléphoniques à longue distance; mais il avait l'inconvénient d'être volumineux et aisé à avarier, un choc qui déformait l'enveloppe de plomb, ayant le plus souvent pour effet de briser les perles et de donner lieu à un mélange des conducteurs.

Les câbles Patterson avaient été créés en Amérique : les fils, individuellement revêtus de fils de coton, assemblés en faisceau et soigneusement desséchés à l'étuve, étaient introduits librement dans un tube de plomb de diamètre sensiblement supérieur : l'espace laissé libre ainsi que tous les interstices des revêtements étaient alors remplis de paraffine injectée à l'état fluide et sous pression par l'un des bouts du tube, qui se solidifiait en place par refroidissement. On obtenait ainsi un câble compact, relativement peu coûteux, peu susceptible de s'avarier si la pose en avait été réussie et les soudures bien faites : l'isolement atteignait 160 mégohms au kilomètre. Mais, d'une part, la capacité était encore de 11,5 centième de microfarad au kilomètre; d'autre part, si quelque fissure de l'enveloppe de plomb, quelque défaut au raccord de deux bouts de tuyau laissait un passage à l'humidité, celle-ci pénétrait dans les mille petites crevasses qui se forment dans la paraffine par le refroidissement ou la flexion du câble, et occasionnait des dérivations de fil à fil ou des pertes à la terre fort difficiles à supprimer : la confection d'une soudure, dans une atmosphère un peu chargée d'humidité, dans un égout, un souterrain, était par ce motif toujours assez délicate. Des quantités très considérables de ce matériel furent employées pour les réseaux téléphoniques des grandes villes américaines. A peu près en même temps, un câble d'un type similaire, construit par la maison Borel-Berthoud, de Cortaillod (Suisse), trouvait en Autriche et en Suisse un accueil favorable.

Depuis cette époque, une série de transformations logiquement déduites ont peu à peu ramené l'un à l'autre ces deux types si dissemblables au début. On s'avisa d'abord que dans le câble Patterson, si l'enveloppe de plomb est bien saine, si le coton a été complètement desséché, si les deux bouts de chaque section sont exactement obturés par la paraffine, il n'est guère utile de remplir aussi de paraffine l'intervalle de ces deux tampons : l'isolement n'y gagne pas et la présence de cette matière, dont le pouvoir inducteur est à peu près double de celui de l'air, ne fait qu'accroître sans profit la capacité électrostatique de la ligne. On fut ainsi conduit à construire, avec les mêmes éléments, des câbles où la paraffine fondue était injectée par les deux bouts à la fois de chaque section, de façon qu'elle cessât de pénétrer lorsque la pression de l'air emprisonné faisait équilibre à la pression appliquée du dehors. Les câbles de ce type, ou câbles secs, n'avaient plus qu'une capacité électrostatique moyenne de 8,75 centième de microfarad par kilomètre.

Ce premier pas fait, on rechercha si quelque autre substance ne pourrait pas, aussi bien que le coton, jouer le rôle de séparateur, tout en s'imprégnant d'une quantité moindre de paraffine. Toutes les fibres végétales bien sèches paraissaient presque également aptes, et la question ne fut bientôt que de celle qui, sous la moindre épaisseur, assurerait le revêtement le plus régulier, le moins sujet à s'ouvrir sous une flexion brusque et à laisser une solution de continuité par où pourraient se toucher les conducteurs voisins. Pour un tel usage, ce n'était plus la fibre à l'état naturel qui devait le mieux convenir, mais la substance de cette fibre, la cellulose, amenée par le travail à l'état de feuille continue, de papier. Des câbles secs furent donc construits, où chaque conducteur était enveloppé d'un double ruban de papier. La capacité baissa encore; mais les difficultés de soudure subsistaient comme par le passé, en sorte que les points faibles d'un câble semblaient être plutôt là où il y avait de la paraffine, que là où il n'y en avait pas.

Les choses en étaient là lorsque après de nombreuses épreuves faites sur des câbles Fortin-Hermann, que des rentrées d'eau avaient mis en dérangement, M. l'Ingénieur Barbarat, des Télégraphes français, conçut l'idée hardie de supprimer toute obturation entre les deux bouts d'une ligne : les sections successives seraient soudées sans se préoccuper d'autre chose que d'éviter le mélange des conducteurs et l'obstruction du tube, et, après coup, une fois le câble complet, l'humidité serait chassée et l'isolement relevé à la valeur voulue par le passage suffisamment prolongé d'un courant d'air sec. De même, en cas de perte à la terre ayant pour origine une avarie de l'enveloppe métallique et une rentrée d'humidité, le passage du courant d'air permettrait de remettre les conducteurs intéressés en état de service provisoire, et de les y maintenir en attendant la réparation définitive. Et, pour obtenir un tel résultat, il suffirait de réserver à chaque bout du câble, dans le tube de plomb, deux bouchons à vis pour l'entrée et la sortie de l'air. Des résultats remarquables furent obtenus dans le réseau téléphonique de Paris par l'emploi de ce système : des artères entières de fils maintenues pendant aussi longtemps qu'on le voulut à l'isolement fixe de 2,000 mégohms; d'autres, envahies par

l'eau à la suite d'un accident et mises complètement à la terre, relevées et rendues propres au service avant même que l'on eût pu découvrir le lieu du défaut; les opérations de pose et de soudure simplifiées, accélérées, rendues moins coûteuses. Aussi, en peu de temps, les câbles dits *à circulation d'air* furent-ils généralement adoptés, et c'est à ce type, qu'on peut considérer comme le type moderne, que se rapportaient la plupart des câbles téléphoniques à grand nombre de conducteurs présentés à l'Exposition, les diverses fabrications se distinguant surtout les unes des autres par la façon des garnitures de papier. Les uns préfèrent revêtir chaque fil individuellement d'une enveloppe complète; d'autres séparent par une simple épaisseur de papier les deux fils d'une même paire, et ne forment l'enveloppe complète qu'autour de l'ensemble de la paire; d'autres encore associent les fils par quatre, cloisonnés les uns des autres et compris sous une gaine commune.

Dans les câbles de ce genre, les principales matières, les métaux, sont autant dire impérissables, et, quelque avarie qui survienne, restent susceptibles de réemploi sans diminution de valeur appréciable : les mains-d'œuvre, tant de fabrication que de pose, se réduisent au minimum; et le prix de revient des fils tombe au cinquième ou au sixième de ce qu'il était avec les modèles précédents.

Un point, toutefois, reste incertain : c'est celui du procédé le plus convenable pour protéger des injures extérieures ces enveloppes de plomb, dont la moindre blessure se traduit bien vite par une perte totale sur le câble. Bien des procédés, bien des types de canalisation ont été mis en avant, sans qu'aucun ait réuni les suffrages des praticiens; le prix de ces conduites est, en général, fort élevé et s'accroît encore par la nécessité d'établir de suite, en vue d'un avenir incertain, des logements d'une capacité très supérieure au besoin du jour. L'État belge montrait des spécimens de tuyaux en poterie qui ont servi au réseau de Bruxelles, et qui constituent une des solutions les plus économiques de ce difficile problème. M. Hultmann, de Stockholm, présentait aussi, pour le même usage, des blocs massifs de ciment moulé, percés d'un certain nombre de canaux cylindriques; ces blocs, juxtaposés sur un lit de béton et assemblés les uns aux autres par des armatures de fer, forment une masse très pesante, peu sujette à se rompre, et suffisamment flexible à ses joints pour céder aux tassements du terrain.

Les conditions propres à la télégraphie sous-marine ne lui permettent guère de tenter des essais analogues : les opérations à la mer sont relativement rares, la valeur du conducteur est alors considérable, et les risques nécessairement attachés à ces sortes d'entreprises sont bien assez graves pour qu'on hésite à se départir, même dans le moindre détail, des méthodes éprouvées. Il y aurait d'ailleurs inconvénient, pour la pose, à alourdir le câble par l'introduction de matières pesantes, contribuant peu à la solidité mécanique; et d'autre part, l'aléa des réparations, les frais élevés qu'elles entraînent, détournent d'essayer de nouveaux diélectriques. Aussi l'Exposition ne présentait-elle, à cet égard, rien que de connu et de traditionnel; et tout le changement se réduisait peut-être à quelques variations dans les épaisseurs relatives du conducteur et de son enveloppe isolante, et dans la manière de former ce conducteur. Les mêmes

motifs, il est vrai, conduisent dans la construction de ces câbles, à une recherche, à une minutie de soins, à une rigueur de contrôle assurant l'absolue perfection du produit. On ne saurait voir mieux, assurément, que les câbles présentés par l'Allgemeine elektricitäts Gesellschaft et par Felten et Guillaume en Allemagne, par Pirelli en Italie, par la Société industrielle des Téléphones en France : les grandes maisons anglaises, qui ont eu si longtemps le monopole de ces travaux, ne s'étaient pas fait représenter.

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES.

L'ensemble des appareils télégraphiques exposés figurait de la façon la plus satisfaisante, l'évolution complète d'une application déjà ancienne, depuis ses premières origines jusqu'au plus haut degré de perfection : les trois grands principes suivant lesquels s'est accomplie cette évolution étaient représentés, à leurs différents stages, par des appareils caractéristiques.

C'étaient d'abord les instruments du début, alors que, satisfait de recevoir les signaux d'un correspondant éloigné et de les pouvoir traduire, on ne se mettait point en peine si ces signaux étaient longs à former, pénibles à suivre, sujets à erreur : tel était le cas de ces appareils à aiguille que, dans sa collection si intéressante, le General Post Office ne montrait pas seulement comme des reliques d'un passé lointain, mais dont il continue encore de faire usage sur quelques directions peu actives. Puis, on voulut condenser en quelque sorte le signal électrique complexe en un signal figuré unique, plus commode à lire, et ce furent les cadrans et similaires où, par une succession d'émissions en nombre convenable, un index est amené de place en place jusqu'en face de la lettre voulue; ce furent aussi tous ces nombreux dérivés du cadran, où un mécanisme local, suivant pas à pas les mouvements du transmetteur, imprimait la lettre choisie, au lieu qu'on la dût lire et noter au passage.

Avec le Morse, deux éléments interviennent simultanément pour différencier les signaux, le nombre et la durée des émissions; et, par leur combinaison, un nombre toujours restreint de signaux élémentaires suffit à tous les besoins. L'appareil se réduit d'ailleurs à un organe électrique unique, robuste et du fonctionnement le plus simple; et, soit que la réception se fasse par la seule cadence des coups frappés, soit que le battement de l'armature soit transformé en un son continu, soit enfin que des traces permanentes soient inscrites sur une bande par une pointe sèche, une plume, une molette ou un courant local d'électrolyse, les organes mécaniques sont également simples. Cette rusticité de l'appareil, la facilité de son montage et de son emploi sont restés, aux yeux des professionnels, des qualités maîtresses : et c'est ce qui explique que, malgré un rendement peu élevé — 750 mots à l'heure, au plus, avec de très bons opérateurs, — son usage soit resté universel; c'est ce qui explique aussi le peu de succès des tentatives faites à diverses époques en le compliquant sous prétexte de l'améliorer. De fait, les différences qui paraissent entre les appareils originaires des divers

pays, ne sont que de pure forme et ne tiennent guère qu'à une conception variable de l'outillage et de la fabrication, les uns s'attachant plus au fini du travail et les autres à son bon marché, certains préférant faire léger, d'autres étoffant davantage pour prévenir les avaries. Le seul point sur lequel la pratique des divers pays ait toujours varié, c'est la liaison directe du récepteur à la ligne, ou l'emploi d'un relai interposé; cette disposition, assurément favorable à la netteté de la lecture, est habituelle en Amérique, fréquente en Angleterre, et les tables de manipulation pour petits bureaux exposés par le Ministère du commerce d'Autriche et par la Direction des télégraphes de Hongrie montraient un relai installé à côté du Morse écrivant.

L'Association des ouvriers en instruments de précision, les maisons Bréguet, Darras, Doignon, Mors, la Société des établissements Postel-Vinay pour la France; la maison Siemens et Halske, pour l'Allemagne; le Ministère du Commerce d'Autriche; l'Administration des télégraphes de Belgique; la Western electric Company, aux États-Unis; le General Post-Office, pour la Grande-Bretagne; la Direction générale des postes et des télégraphes de Hongrie; le Ministère des postes et télégraphes d'Italie; la maison Krogh, en Norvège; en Roumanie, la Direction générale des chemins de fer et celle des postes et télégraphes; en Russie, l'Administration des postes et télégraphes, la Société anonyme Siemens et Halske présentaient du matériel Morse de la meilleure exécution.

L'appareil Hughes, qui constitue avec le Morse l'outillage normal de la télégraphie en Europe, est fondé sur un tout autre principe. Aux postes correspondants, deux rouages sont maintenus en synchronisme et comportent chacun un disque sur la tranche duquel sont gravés en relief les caractères utiles. Le rôle de l'organe électrique se réduit à embrayer, à l'instant où une émission de courant l'excite, un ensemble de pièces dépendant du rouage, dont l'effet est de projeter la bande de papier contre le caractère traversant, à ce moment précis, une position déterminée, lequel laisse ainsi sa trace imprimée : chaque lettre n'exige plus qu'une seule émission envoyée en temps convenable; toutes les émissions sont identiques, et leur durée est limitée au temps strict de mettre en prise les pièces mécaniques, l'opération même de l'impression et le retour au repos s'effectuant sans intervention du courant. C'est dans ce travail local, d'ordre mécanique, que résident les difficultés de l'appareil, dans le mécanisme d'enclenchement et de détente qui ne peut souffrir aucune variation de temps perdu, dans les moyens de maintenir le synchronisme une fois atteint par tâtonnements, et de compenser à mesure l'effet des à-coups que déterminent forcément dans la vitesse, les départs, les chocs brusques et les arrêts des organes d'impression; et c'étaient des améliorations de détail relatives à ces trois points que l'on pouvait relever dans les appareils exposés.

Dans les modèles plus anciens, la liaison intermittente du rouage et de l'arbre d'impression était obtenue par une roue à rochet et un cliquet à dentures très fines, qui, ne se mettant en prise le plus souvent que par une ou deux dents, fatiguaient et subissaient une usure rapide. Dans les types de la maison Siemens, dans ceux des administrations autrichienne, belge, hongroise, on a substitué un embrayage latéral

par manchons à dents, qui, agissant par le pourtour entier des arbres à rendre solidaires et intéressant toutes les dents à la fois, semble devoir fournir un meilleur service. Pour la régulation, on a longtemps compté sur l'uniformité de marche du rouage à chute de poids, un pendule conique formé d'un fort ressort contourné en hélice et relié à friction au mécanisme, servant à corriger les petits écarts de vitesse. Mais les vibrations énergiques, communiquées par ce ressort au bâti de l'appareil et aux objets environnants, étaient fort incommodes. La maison Siemens a introduit avec succès un régulateur vertical à boules et à ressorts rectilignes, qui est exempt de ce défaut. Une combinaison analogue, plus compacte encore, était présentée par le service russe. Du jour où les femmes furent admises à desservir les appareils Hughes, comme on ne pouvait leur demander l'effort trop pénible de remonter à la pédale le poids moteur, on introduisit des systèmes de remontoirs mécaniques : ces remontoirs, actionnés par l'eau, l'air comprimé ou l'électricité, n'agissaient que par intervalles, pour maintenir le poids entre des limites de parcours fixes, le mouvement même de l'appareil continuant d'être emprunté à la chute de ce poids. Ce ne devait être là, toutefois, qu'une solution d'attente; car, à tant faire que de pourvoir chaque appareil d'un moteur et d'une prise de force, on devait être tenté de prendre sur ce moteur une commande directe et continue, et de se dispenser de la complication du rouage et du double mouvement : les moteurs électriques, par leurs qualités d'autorégulation, étaient tout indiqués pour de telles combinaisons. Le General Post Office, Siemens et Halske de Berlin, Eggee de Budapest, Czeija, Nissl et C° de Vienne, montraient des accouplements directs de ce genre.

Pour compléter l'énumération des appareils du type Hughes dignes de remarque par la perfection de leur travail, il faudrait citer ceux de l'Association des Ouvriers en instruments de précision, de la maison Doignon et de la Société des établissements Postel-Vinay, en France; du Ministère des postes et des télégraphes, en Italie. C'est à cette place également qu'il convient de citer deux instruments établis sur la donnée générale du Hughes, mais mettant en œuvre des procédés et des organes tout différents : le télescripteur Hoffmann (Sections luxembourgeoise et allemande) et l'appareil Stieltjes (stand du General Post Office) : destinés par leurs auteurs à être mis dans les mains du public et à former comme un complément du téléphone dont ils empruunteraient les réseaux, ils sont caractérisés par la simplicité de leur manœuvre qui n'exige aucun apprentissage.

Dans les mains d'un opérateur habile, le Hughes peut rendre jusqu'à 1,800 ou 2,000 mots à l'heure : mais, de ce temps, la plus grande partie n'est prise que par des opérations mécaniques locales, et c'est à peine si pendant un sixième de la durée totale la ligne est parcourue par les courants de transmission et travaille effectivement. Avec le Morse, on peut compter aussi que les intervalles des signaux, des lettres et des mots représentent une durée à peu près égale à celle des signaux eux-mêmes. Une distinction essentielle doit toutefois être faite entre ces deux cas : pour le Morse, ce sont les possibilités de la transmission qui marquent la limite du rendement, et, à la cadence

la plus rapide que puisse prendre et soutenir la main de l'opérateur, il subsiste encore une marge considérable entre la vitesse réalisée et celle dont seraient susceptibles les organes électriques ou mécaniques : en sorte que pour accroître le débit, il peut suffire d'accroître la vitesse de transmission en substituant des procédés mécaniques à la manipulation directe. Dans le Hughes, au contraire, tout est déjà poussé à l'extrême, et l'on ne pourrait ni employer des émissions plus courtes ni les rapprocher davantage, parce que tout est commandé par le mouvement des organes d'impression, à l'arrivée, qui ne sauraient être sensiblement accélérés; et le seul moyen d'augmenter le rendement de la ligne est de mettre à profit, pour des transmissions à recueillir sur d'autres récepteurs, le temps pendant lequel le travail à un seul récepteur laisserait le fil pratiquement inactif.

Le Wheatstone à composition préalable est un Morse à transmission automatique ; mais, pour développer dans leur entier les avantages du système, pour tenir la vitesse de réception à hauteur de la vitesse de transmission que des organes mécaniques permettent de réaliser au départ, des compléments sont devenus nécessaires à la combinaison initiale. Il n'eût servi de rien, en effet d'alléger les pièces mobiles du mécanisme et de réduire l'étendue de leurs déplacements, de façon à en rendre les mouvements aussi aisés que possible, si les signaux qui devaient déterminer ces mouvements, n'étaient demeurés nets et précis. Or, à mesure que les lignes s'allongent et que leur capacité grandit, les effets de deux émissions semblables se succédant à très court intervalle, tendent à se fondre, à se continuer l'un dans l'autre, ne produisant plus sur les organes de réception qu'une impression unique plus prolongée que chacune des deux émissions, donnant lieu par conséquent à la réception d'un signal de nature et de sens tout autres que les deux signaux transmis. Si les émissions envoyées sont de sens contraire, la même difficulté se présente sous une autre forme, les deux signaux risquant de manquer l'un et l'autre en s'éteignant mutuellement. Pour sortir d'un si grave embarras, il fallut modifier profondément la nature de la transmission, substituer aux émissions simples qui constituaient les signaux élémentaires, des émissions compensées, c'est-à-dire formées chacune d'une succession d'émissions de sens contraire, d'intensités et de durées décroissantes, séparées au besoin par des périodes de mise à la terre, de façon que le phénomène d'enjambement, de soudure, escompté et mis à profit, contribuât à la séparation des signaux. Des relais spéciaux, capables de recevoir et de reproduire ces signaux compensés, ont permis en même temps de sectionner les lignes et de restreindre pour chaque tronçon, l'effet perturbateur de la capacité. Le General Post Office présentait la série complète des appareils, relais et accessoires divers, du modèle le plus récent, avec lesquels la vitesse a pu être portée au chiffre énorme de 7,000 mots à l'heure.

Le Ministère des Postes et Télégraphes d'Italie montrait, par une carte, l'organisation si intéressante et rationnelle qu'il a adoptée pour la transmission des comptes rendus du Parlement dans les provinces, au moyen du Wheatstone : une seule composition perforée, passant de transmetteur en transmetteur, assure autant de fois qu'il est

IMPRIMERIE NATIONALE.

nécessaire, sans travail ni retard appréciables, l'écoulement des plus volumieux débats.

L'appareil de MM. Viràg et Pollàk appartient aussi à la catégorie des rapides à transmission unique : le modèle de démonstration, qui figurait à la Section hongroise, en laissait entrevoir la surprenante simplicité. Pour la transmission, une bande perforée; pour la réception, un minuscule miroir, pivotant par un bord sur un couteau vertical fixe, appuyant par l'autre bord sur un autre couteau vertical rivé à la membrane d'un téléphone, qui constitue tout l'organe récepteur. Un rayon de lumière est envoyé sur ce miroir, s'y réfléchit, et, à travers une fente horizontale, vient tomber sur une bande de papier photographique qui se déroule parallèlement aux arêtes des couteaux : au repos de l'appareil, il s'inscrit sur ce papier une simple ligne droite, dans le sens du mouvement. Mais qu'un courant, traversant les bobines du téléphone, vienne renforcer ou atténuer l'attraction de l'aimant sur la membrane, le miroir tourne, le rayon réfléchi dévie à droite ou à gauche de sa direction première, et trace sur le papier un crochet à droite ou à gauche de la ligne de zéro : la combinaison de ces crochets, comme celle des points et des traits du Morse, sert à constituer l'alphabet. Il semble bien, comme l'assurent les inventeurs, que la faiblesse et la courte durée des variations qui suffisent à influencer une membrane de téléphone, que le peu d'inertie du système inscripteur et l'amplitude des signaux qu'il fournit, doivent concourir pour assurer à cet appareil un rendement élevé. Mais l'installation n'était point en état de fonctionner, même pour une expérience locale, et le Jury n'a pu que recevoir les explications qui lui ont été fournies, sans les soumettre à vérification.

L'emploi d'un dispositif photographique analogue conduit à mentionner à cette place l'appareil Ader, pour la transmission sur les longues lignes sous-marines, présenté par la Société industrielle des téléphones. Un fil très fin et flexible est disposé transversalement aux lignes de force d'un champ magnétique allongé et intense; il est traversé par les courants de la transmission, et, suivant leur sens, il subit une légère attraction vers l'un ou l'autre côté du champ : ces mouvements, observés dans la région médiane du fil où ils sont le plus étendus, et amplifiés par un procédé optique, s'inscrivent sur une feuille de papier sensible. L'appareil Ader n'exige pas d'accessoires compliqués, il est compact, ne renferme point d'organes délicats, susceptibles d'avarie ou de remplacement difficile : il a rendu de bons services dans les stations où il a été mis en usage.

On comprend aussitôt qu'une seule ligne puisse, sans le moindre désordre, assurer les communications de divers couples de postes correspondants s'il y a partage du temps, si la première heure, par exemple, est affectée à l'usage du premier couple, la seconde à celle du second, et que chacun s'interdise de rentrer sur le fil en dehors de la période qui lui est assignée. C'est cette combinaison même qui est la base des divers systèmes de la deuxième catégorie, où un fil unique écoule à la fois plusieurs correspondances : mais chaque couple d'appareils correspondants ne garde le fil à sa disposition que le temps voulu pour émettre un signal, et de suite il se retire, repasse la ligne au couple

suivant qui, à son tour, transmet une lettre et fait place à un autre, et ainsi de suite jusqu'à ce que revienne le tour du premier. Pour celui-ci, d'ailleurs, l'attente n'aura pas été du temps perdu : elle lui aura servi, au départ, à préparer et à tenir tout prêt le signal suivant, de façon que la ligne le puisse recueillir au passage ; à l'arrivée, elle aura été remplie par les diverses opérations mécaniques que peut demander l'enregistrement des signaux ou l'impression des caractères. Plus simples pourront être les signaux, plus brèves les émissions qui les composent, plus rapides les mécanismes qui les traduisent, et plus les tours de travail pourront être rapprochés pour chaque couple; à la réserve d'un certain rythme, d'une cadence de manipulation à maintenir pour ne pas laisser perdre le moment d'envoyer son signal, chaque couple pourra opérer presque comme s'il était seul, à la vitesse que définissent la nature et la fonction des organes à mouvoir. Et, pour que les éléments de ces multiples transmissions, systématiquement entremêlés au départ, se trient à l'arrivée, se dégagent et rejoignent chacun le seul récepteur auquel il est destiné, il suffira qu'il y ait synchronisme exact entre les mécanismes qui régissent d'un côté la succession des transmetteurs, de l'autre celle des récepteurs. Ces mécanismes ou distributeurs constituent le trait commun des systèmes à transmissions multiples.

L'appareil Baudot, si largement entré dans la pratique des services européens, peut être pris comme type du genre : la maison Carpentier montrait la série des modèles établis par elle avec la perfection que l'on sait, qui, d'amélioration en amélioration, ont amené cet instrument au point de simplicité, de sûreté de fonctionnement, de flexibilité d'emploi où il est parvenu aujourd'hui : appareils quadruples, sextuples, octuples, c'est-à-dire où quatre, six, huit transmissions s'échangent par un même fil entre un poste de départ et un poste d'arrivée ; appareils échelonnés donnant le moyen de desservir au passage des postes intermédiaires; relais polarisés à marche rapide et à repos indifférent permettant de sectionner les lignes pour maintenir la pleine vitesse des transmissions; combinateurs simplifiés où une seule voie suffit aux cinq aiguillages nécessaires pour la traduction des signaux électriques en caractères imprimés; accessoires divers assurant jusque dans les moindres détails la sécurité et la précision du fonctionnement. Il serait superflu de décrire, même sommairement, un appareil depuis longtemps classique et partout répandu; les points suivants ne sont donc rappelés que pour la facilité des comparaisons : la manipulation du Baudot se fait avec les deux mains à la fois, sur un clavier de cinq touches; chaque touche intervient dans la formation du signal soit par sa position de travail, soit par sa position de repos, en sorte que chaque signal est formé de cinq émissions de durée égale, positives ou négatives. La durée utile d'une émission, à la vitesse moyenne de 180 tours et avec quatre claviers, est de 1.72 de seconde ; les émissions n'agissent que pour orienter les relais récepteurs; la traduction des signaux complexes en caractères alphabétiques se fait après coup, en local, à raison d'une lettre par tour du récepteur, ce qui correspond à une vitesse de transmission de 1,800 mots environ par heure et par clavier; le synchronisme est obtenu en réglant l'un sur l'autre, par tâtonnement, les moteurs des appareils correspondants; il est

maintenu au moyen d'une correction d'amplitude constante opérant lorsque l'accumulation des différences de marche a produit un écart égal à cette amplitude.

Le Hughes multiple de M. Munier procède d'une idée assez voisine réalisée par des moyens tout différents. La transmission s'opère sur un clavier alphabétique à combinaisons, où le simple enfoncement d'une touche donne naissance au signal complexe correspondant. Pour la composition de ces signaux, l'espacement des émissions est mis à profit en même temps que leur polarité, en sorte que toutes les combinaisons nécessaires peuvent être obtenues avec deux émissions au plus, toujours séparées par un intervalle au moins égal à leur durée propre, soit 1/50 de seconde. Au départ, un distributeur recueille successivement les signaux formés sur les divers claviers transmetteurs associés, et les lance sur la ligne; à l'arrivée, un distributeur synchrone les trie et les dirige sur des groupes de relais correspondants qu'ils orientent. Pour chaque groupe de relais, un Hughes, tenu en synchronisme avec le reste du système et pourvu d'un distributeur particulier, reçoit en local, au passage, les courants préparés par les combinaisons de relais et produit l'impression par les procédés ordinaires. Le synchronisme est cherché et conservé comme dans le cas du Hughes simple. Dans des essais faits entre Paris et Lyon, la vitesse réalisée par clavier a été de 1,200 à 1,300 mots à l'heure.

L'appareil de M. le professeur Rowland présente, à l'égard des précédents, des différences profondes ayant leur origine dans l'emploi qui est fait pour la transmission, d'un courant alternatif. Ce courant, emprunté à une dynamo qui tourne à environ 200 tours par minute et donne 26 périodes complètes par tour, est envoyé en permanence sur la ligne et actionne, au poste de réception un relai polarisé à zéro indifférent et à double armature, qui oscille ainsi entre ses butoirs à la périodicité des inversions. L'appareil d'arrivée reçoit son mouvement d'un moteur électrique réglable au moyen d'un rhéostat et porte sur son arbre une petite dynamo alternative, du même nombre de pôles que la machine de transmission. C'est d'abord en recevant dans un téléphone les pulsations électriques du courant de ligne d'une part, celles de la dynamo locale de l'autre, que l'on apprécie et que l'on corrige la différence de marche de l'appareil d'arrivée sur l'appareil de départ, un son pur de hauteur et d'intensité soutenues n'étant produit que quand, en modifiant le réglage du rhéostat, on a réalisé une rigoureuse égalité de vitesse : c'est ensuite en envoyant dans la dynamo locale le courant de ligne lui-même que l'on conserve cette égalité, les deux machines conjuguées tendant à se mettre en synchronisme exact et la plus puissante exerçant sur l'autre une action régulatrice continue. L'égalité de vitesse ainsi atteinte, la mise en phase et, par suite, le synchronisme absolu des appareils eux-mêmes résultent d'une correction s'opérant à chaque tour, à position fixe. La transmission des signaux s'opère au moyen d'un clavier alphabétique présentant la disposition générale d'une machine à écrire; elle procède non plus par émission, mais, pour chaque lettre, par suppression de deux demi-périodes non consécutives convenablement choisies dans la série de six périodes successives pendant lesquelles la ligne reste affectée à chaque clavier. A l'arrivée, à chaque demi-onde supprimée

correspond l'arrêt, pendant trois demi-périodes consécutives, du relais de ligne sur l'un de ses contacts et, comme conséquence, l'orientation par un courant local de l'un ou l'autre des relais, au nombre de 11, correspondant au clavier transmetteur. Un combinateur interprète ensuite, sous forme de caractère alphabétique imprimé, la combinaison réalisée dans le groupe de relais. L'impression ne se fait plus sur une bande, mais bien sur une feuille de papier, une combinaison de deux relais étant affectée à commander, au moyen d'un électro local, chacun des mouvements qu'il peut être nécessaire de donner à cette feuille, retour à la ligne, espacement, alinéa, etc. : un index, sur le transmetteur, indique à chaque instant où l'on en est de l'écriture à la station réceptrice. La durée affectée à la transmission d'une lettre est d'un peu moins de 1/14e de seconde, et le rendement, avec quatre claviers, à la vitesse normale de 200 tours, atteint 1,800 à 2,400 mots par clavier. Une combinaison de duplex, permettant de transmettre des deux bouts à la fois, double ce débit et donne pour la ligne travaillant à son plein 16,000 à 19,000 mots à l'heure.

Avec le Delany, exposé par le General Post Office, nous voyons un instrument où le principe des distributeurs synchrones est appliqué, non plus pour la transmission à tour de rôle par chaque manipulant d'une lettre ou d'un signal élémentaire, mais où chaque signal élémentaire est décomposé lui-même en émissions partielles, assez courtes et assez rapprochées pour ne produire sur les organes récepteurs qu'une impression unique, mais néanmoins séparées les unes des autres par d'autres émissions jouant le même rôle dans les signaux émis par d'autres opérateurs. Le distributeur de départ, formé d'une série de contacts semblables, très étroits et reliés suivant un ordre régulier aux divers appareils transmetteurs, produit l'enchevêtrement systématique des émissions partielles : pour que le distributeur d'arrivée en opère le tri et la recombinaison, il faut, tant sont courtes ces émissions, tant leur succession est rapide, que son balai passe sur une touche à l'instant précis où l'onde électrique, issue de la touche correspondante au départ et retardée ou déformée qu'elle a pu être dans sa propagation par la résistance, la capacité et la self-induction du conducteur et par les influences des conducteurs voisins, parvient au bout de la ligne à son maximum d'amplitude. On a donc besoin non seulement d'un synchronisme exact, mais d'une mise en phase également précise : les dispositifs imaginés par M. Pollock permettent d'opérer ce réglage en pleine marche et d'assurer l'écoulement régulier de six transmissions Morse par la même ligne, dont le débit atteint ainsi 4,500 mots à l'heure.

Que la ligne soit desservie par un appareil à grande vitesse ou par un appareil à transmissions multiples, un autre procédé reste ouvert pour en accroître le débit : c'est la superposition de transmissions indépendantes. Si deux appareils, en effet, sont ainsi construits ou disposés que les signaux qui influencent l'un, soient sans action sur l'autre et réciproquement, ces appareils pourront être montés sur le même fil et travailler en toute indépendance. Des combinaisons de ce genre ont, depuis longtemps, été réalisés par des procédés divers.

Dans les duplex, c'est un équilibre électrique établi entre les résistances et les capa-

cités de la ligne réelle, et celles d'une ligne artificielle constituée *ad hoc* dans le poste de départ, qui supprime, pour un récepteur placé dans ce poste, l'effet des émissions de départ, tout en le laissant sensible aux courants envoyés de l'autre bout de la ligne, en sorte que les deux transmissions se croisent sans interférer.

Supposons maintenant ce récepteur dédoublé sur place en deux instruments distincts; que l'un de ces instruments soit un relais polarisé délicat, susceptible de répondre à des émissions très faibles pourvu qu'elles soient de sens déterminé, négatif par exemple; que l'autre soit un relais ordinaire réglé pour n'obéir qu'à de fortes intensités, quelle qu'en soit d'ailleurs l'orientation. Le poste correspondant est pourvu d'un jeu de clefs appropriées, en sorte que l'une n'envoie que les courants négatifs atténués suffisants pour le premier relai, l'autre que les courants positifs intenses nécessaires pour le second; mais, par une disposition spéciale, si les deux clefs sont abaissées à la fois, il passe sur la ligne un courant négatif intense propre à actionner les deux relais à la fois. Ce sera le quadruplex : car, l'équilibre au départ ayant été conservé, chaque émission produite à l'un des bouts de la ligne, ne se fait sentir qu'à l'autre bout, et là n'affecte que celui des récepteurs auquel elle est destinée. Quatre transmissions s'échangent donc, sans dépendance aucune et même en rigoureuse simultanéité. Le General Post Office montrait des installations duplex et quadruplex complètes, s'appliquant, soit au Morse seul, soit au Morse et au Wheatstone combinés.

Un autre exemple, bien connu et caractéristique de transmissions indépendantes est celui que fournit le système Van Rysselberghe pour la télégraphie et la téléphonie simultanées. Deux moyens y sont à la fois mis en œuvre pour réaliser l'indépendance des transmissions : — la différence des signaux, les émissions graduées qui desservent le télégraphe, ne développant aucun son dans le téléphone, et, d'autre part, les courants phoniques à alternances rapides étant sans action sur les électro-aimants ordinaires même les plus délicats; — en second lieu, une sorte d'aiguillage des signaux sur l'un ou l'autre récepteur suivant la nature de ces signaux, le récepteur ordinaire étant précédé de bobines de self-induction qui laissent passer les courants ordinaires et opposent une barrière presque absolue aux courants vibratoires, et le téléphone s'attachant au delà d'un condensateur que ne peuvent franchir les courants continus et que traversent librement les impulsions ondulatoires. De même, dans la combinaison pour télégraphie et téléphonie simultanées due à M. Cailho, c'est un équilibre électrique, genre Pont de Wheatstone, qui rend inactives sur le téléphone les émissions télégraphiques; c'est un dispositif de tri par nature de signaux réalisé par des bobines de forte self-induction, qui empêche les ondes téléphoniques de se perdre dans les circuits d'équilibre et les dirige exclusivement sur le téléphone récepteur.

Ces applications sont déjà anciennes : une combinaison plus récente est celle qui est connue sous le nom de Phonopore, et qui réalise deux transmissions télégraphiques simultanées. Elle ne diffère pas, au fond, du Van Rysselberghe : le condensateur à lames métalliques est remplacé par celui que forment deux fils enroulés en même temps sur une bobine, et séparés par leurs revêtements de soie; les impulsions ondulatoires en-

voyées, au départ, dans le premier fil de ce condensateur, se répètent dans le second, et, par la ligne et le dispositif correspondant du poste d'arrivée, atteignent le récepteur du type téléphone ou relais phonique, et les signaux sont reçus au son ou comme caractères imprimés. Jusqu'ici, le Phonopore a trouvé son principal usage dans les services de chemins de fer, où il a permis d'utiliser à plusieurs fins des fils existants et de faire face sans frais à de nouveaux besoins. La Société industrielle des téléphones exposait les principaux organes de ce système.

MM. Mercadier et Peirquin, reprenant l'idée si hardie qui a servi de point de départ au télégraphe harmonique d'Elisha Gray, établissent sur le principe de la résonnance acoustique l'indépendance de leurs transmissions. Leur récepteur est une sorte de téléphone de grandes dimensions dont la membrane circulaire, très rigide, repose librement, par trois points de sa première ligne nodale, sur trois supports : une lame ainsi soutenue ne vibre franchement que sous l'action de courants ondulatoires dont la période d'alternance est précisément égale à sa période de vibration propre. Si, sur un même circuit, on dispose plusieurs de ces monotéléphones dont les membranes aient été accordées à des hauteurs de son différentes, et qu'on envoie simultanément des courants vibratoires de diverses périodes, chaque récepteur n'est sensible qu'aux seules émissions dont la périodicité correspond à la sienne, et le départ des transmissions jetées sur le même fil s'opère de lui-même. Des diapasons entretenus hachent suivant leur propre période le circuit des piles locales, et décomposent ainsi chaque signal de la manipulation en une série d'émissions élémentaires suivant un rythme bien défini et invariable : une bobine d'induction recueille ces émissions élémentaires et les transporte sur le circuit de ligne; à chaque couple de correspondants est affectée une périodicité caractéristique. D'autre part, aux postes de réception, un relai, formé par la superposition d'un téléphone et d'un microphone, est traversé par tous les courants qui circulent sur la ligne, les amplifie dans un circuit local, et, par induction, les transporte sans en altérer en rien les éléments périodiques, dans les récepteurs où le tri s'opère comme il a été dit plus haut. Rien de plus simple en principe que ce système; et, à prendre un à un les organes qui le composent, rien de plus robuste : sans doute, pour passer à la pratique, quelques précautions sont nécessaires, notamment pour éteindre dans chaque poste le bruit de sa propre transmission : mais cela aussi s'effectue par des procédés purement physiques, sans intervention de ces mécanismes compliqués et précis qu'exigent les multiples. Quant au nombre des transmissions simultanées qui peuvent être lancées sur un même circuit sans se confondre dans les récepteurs, il a été reconnu que deux lames dont les hauteurs de son diffèrent seulement d'un demi-ton, ne sont plus influencées par les courants l'une de l'autre : et, dans ces conditions, on a pu, sur de longues lignes, superposer jusqu'à vingt-quatre transmissions, chacune travaillant à la vitesse ordinaire du Morse. Le débit serait ainsi d'environ 18,000 mots à l'heure.

Les relais, qu'ils soient employés comme intermédiaires entre le circuit extérieur et les circuits locaux, qu'ils soient associés par deux en vue de la translation, qu'ils servent de lien entre une ligne aérienne où la transmission n'offre pas de difficultés et une sec-

tion souterraine ou sous-marine où les phénomènes de charge imposent des précautions, ou qu'ils jouent dans des installations complexes un rôle de transformation ou de correction des signaux, sont un des organes les plus fréquemment utilisés en télégraphie : les types présentés à l'Exposition étaient nombreux, mais pour la plupart anciennement connus. Une mention spéciale doit toutefois être réservée au relais Claude, construit par la maison Darras. Disposé sur le principe du galvanomètre d'Arsonval, avec une bobine légère tournant sur elle-même dans un champ magnétique intense, il en conserve les précieux caractères de sensibilité et d'apériodicité; et, par là même, tandis que les divers types de relais galvanométriques essayés jusqu'ici avaient toujours péché, s'ils étaient délicats, par l'insécurité du contact fourni, il fonctionne encore de façon régulière sous des intensités inférieures à un demi-milliampère.

Dans certaines applications, dans les chemins de fer par exemple, il est intéressant qu'une série de postes étant disposés en chapelet le long d'une même ligne, l'un d'eux puisse à volonté en appeler un autre et correspondre avec lui, sans que les stations non intéressées dans la communication soient dérangées par les appels ou la transmission des correspondants, et sans qu'ils la puissent ignorer, ou troubler, ou suivre indûment : il est aussi demandé, d'ordinaire, dans ces installations, qu'un poste puisse, s'il le veut, appeler tous les autres à la fois et leur passer simultanément un même avis. Le rappel général Claude présenté par la maison Darras, le système Dardeau exposé par la Société industrielle des téléphones, le rappel de la maison Bréguet, l'appareil de correspondance des chemins de fer des établissements Postel-Vinay, fournissaient des solutions pleinement satisfaisantes.

Un autre cas, plus fréquent encore et plus important au point de vue du nombre des correspondances échangées, est celui de ces groupes de lignes de courte longueur, qui convergent vers les grandes villes de la région avoisinante. La règle a longtemps été d'amener toutes ces lignes sur appareil au bureau central, d'y recevoir leurs transmissions, de les trier, de les répartir et de les réexpédier s'il y avait lieu. Les inconvénients d'un semblable système sont manifestes : excès de matériel immobilisé, difficulté de service résultant de la dispersion de ce matériel, surcroît de travail imposé au bureau central pour les correspondances de transit, retard dans l'arrivée à destination de ces correspondances. La comparaison avec les procédés de la téléphonie a conduit à constituer des tableaux, où chaque ligne peut être prise par une simple manœuvre de fiche, et, selon les besoins, être renvoyée sur tel appareil du poste central qui se trouve être libre et prêt à recevoir, ou bien être mise en liaison directe avec un autre correspondant extérieur, sans faire intervenir le bureau d'attache pour les dépêche en passage. Le modèle combiné par M. Mandroux, dont plusieurs spécimens étaient présentés par les maisons Bréguet, Mors, etc., a été employé par le service français pour les installations d'un petit nombre de fils. Un tableau plus important paraissait dans l'exposition du General Post Office. Enfin l'administration des Télégraphes belges montrait un appareil destiné au bureau d'Anvers et réalisant de la façon la plus complète et la plus efficace toutes les combinaisons désirables : appel du bureau extérieur, réponse du

poste central, contrôle permanent des appareils disponibles au poste de ville, renvoi de la communication sur l'un ou l'autre de ces appareils, mise en direct avec quelque autre localité suburbaine, ou même réexpédition par relais translateur sur une destination plus éloignée. Il est à remarquer en effet que, dans un pays à population dense et de médiocre étendue, comme est la Belgique, l'installation dans quelques centres de tableaux de ce genre permettrait d'acheminer le plus grand nombre des télégrammes par mise en direct des correspondants, sans aucune retransmission.

Le General post office et la Western electric C° avait envoyé d'autres tableaux conçus dans le même esprit, mais destinés à faciliter l'essai des lignes et la recherche de leurs défauts : quelques manœuvres de fiches, s'opérant toujours de la même façon et dans un ordre régulier, permettant d'obtenir, sur des appareils de mesure compris dans le tableau, toutes les indications utiles et donnant à l'employé même le moins instruit le moyen de recueillir des données expérimentales justes et comparables.

Le prix élevé auquel reviennent sur les longues lignes sous-marines les télégrammes rédigés en clair, et les risques d'obscurité ou d'erreur qui s'introduisent si l'on cherche à abréger par des suppressions de mots, le souci d'ailleurs d'assurer complètement le secret des avis reçus ou des ordres donnés, ont depuis longtemps répandu dans le commerce l'usage des correspondances en code. Ce procédé, admis par tolérance à l'origine, est maintenant entré dans la pratique officielle des administrations télégraphiques qui l'ont réglementé. Mais la confection d'un code est un travail long, pénible, et la plupart des intéressés préfèrent se servir, en l'accommodant à leurs besoins particuliers, d'un des répertoires qui ont été mis dans le public à cet effet. L'International cable directory C°, de New-York, exposait un de ces recueils pour usage général; M. Delage, de Paris, montrait sous le nom de Breviator un code plus spécialement adapté aux besoins du commerce des vins et spiritueux, des publications similaires étant en cours de préparation pour d'autres branches du commerce.

Un des plus surprenants progrès réalisés par la télégraphie dans ces dernières années est celui de la transmission directe des signaux à travers l'espace, sans intermédiaire de conducteurs. Depuis longtemps déjà, la difficulté de maintenir en bon état certaines communications importantes entre la côte et des phares ou bateaux-feux, dans des parages où la violence de la mer et la dureté des fonds avaient en peu de temps raison des câbles les plus lourdement armés, avait conduit le Post Office à tenter des essais. Frappé de la grande distance à laquelle les circuits téléphoniques subissent l'influence perturbatrice des émissions saccadées de la télégraphie ou des courants alternatifs de l'industrie, M. Preece avait cherché à amplifier systématiquement ces effets pour les mettre à profit. En chacun des points entre lesquels il s'agissait d'ouvrir une correspondance, on élevait des lignes de poteaux parallèles sur lesquels étaient disposés des fils revenant plusieurs fois sur eux-mêmes par le même parcours, de façon à constituer comme des cadres multiplicateurs très allongés garnis d'enroulements. L'un de ces cadres étant brusquement excité par un courant énergique, déterminait par induction dans l'autre un effet correspondant; et, par l'emploi d'interrupteurs rapides ou d'une force

électromotrice ondulatoire au départ, d'un relai approprié à l'arrivée, des signaux purent être échangés régulièrement à une distance notable. Comme illustration de ce principe, le General Post Office montrait deux cadres suspendus en l'air entre lesquels fonctionnait une semblable transmission. Mais ce n'était là que des premiers tâtonnements.

Dans la télégraphie sans fils actuelle, telle qu'elle est sortie des recherches théoriques de Branly, il n'y a plus de multiplicateur : des ondes électriques à succession rapide, auxquelles donne lieu une forte étincelle, se propagent en tous sens à partir d'un conducteur vertical. A la station d'arrivée, elles atteignent un conducteur semblable et sont dirigées par lui sur un récepteur spécial, le cohéreur, petit tube de matière isolante, à demi rempli d'une poudre métallique comprise entre deux électrodes. Au repos, cette poudre est peu conductrice; mais qu'elle se trouve sur le passage d'ondes se propageant comme il vient d'être dit, et brusquement sa résistance diminue; un léger choc la ramène à sa condition première dès que l'influence a pris fin. D'où le moyen de faire jouer à ce cohéreur le rôle d'une sorte de relai entre les ondes propagées dans l'espace, et le circuit local d'une pile et d'un appareil télégraphique ordinaire.

C'est dans ces conditions générales que Popoff d'abord, que Marconi ensuite réalisèrent indépendamment l'un de l'autre les premiers essais pratiques de transmission. Depuis, de nombreux travaux ont porté sur les divers éléments entrant dans la combinaison, la nature, la finesse, le tassement de la poudre métallique, qu'assez généralement on s'accorde maintenant à former d'or ou d'un mélange d'argent et d'acier ou de nickel; la hauteur et la disposition des conducteurs verticaux que l'on a reconnu déterminer la portée de la transmission, les procédés les plus propres à produire commodément de fortes étincelles, ceux d'imprimer au cohéreur la secousse nécessaire à la fin de chaque signal.

Dans le Palais de l'Exposition figuraient et fonctionnaient, à l'état de modèles de démonstration, trois types différents d'installations sans fils : celui de la maison Ducretet, de Paris, établi d'après les idées de Popoff, où le conducteur vertical est soigneusement isolé de la terre; celui de l'Allgemeine elektricitats Gesellschaft (système Slaby-Arco), où ce conducteur est relié à la terre par sa partie supérieure; celui de l'American Wireless telegraphy de Milwaukee (Wisconsin), où l'on emploie à la réception deux cohéreurs accouplés et constamment agités par un petit mécanisme à l'air comprimé. On sait que par ces divers procédés des services réguliers de transmission ont pu être établis en pleine mer ou le long des côtes jusqu'à des distances de 40 à 45 kilomètres.

APPAREILS TÉLÉPHONIQUES.

Au moment où s'ouvrait l'Exposition internationale de 1889, on évaluait à 165,000 le nombre des abonnés au téléphone dans les principaux pays d'Europe, et à 172,000 leur nombre aux États-Unis d'Amérique. La dernière statistique officielle publiée, qui

se rapporte à l'année 1898, fait ressortir les chiffres de 585,000 pour l'Europe et de 633,000 pour les États-Unis : le mouvement d'accroissement n'a pas été moins rapide dans les pays pour lesquels on ne possède pas de données comparatives. Dans les grandes villes surtout, le nombre des abonnés entre lesquels doit être assuré le service de correspondance, et l'activité de ce service ont grandi de façon que les procédés de liaison ont dû être modifiés à diverses reprises et remplacés par d'autres plus rapides et plus sûrs. En même temps, la nature des besoins s'est élargie, les communications à longue distance sont devenues, sinon aussi fréquentes, du moins aussi habituelles que les relations locales, et chaque abonné a voulu, de son poste, parler aux destinations les plus éloignées. Enfin, les prix élevés qui avaient été admis sans difficulté à l'origine, tant pour l'achat des instruments que pour la rémunération du service, ont dû être abaissés à mesure que s'étendait la clientèle à atteindre, et le bon marché est devenu une condition essentielle pour le fabricant et pour l'exploitant. L'ensemble des objets exposés donne une idée assez exacte des changements survenus dans l'outillage téléphonique sous l'influence de ces circonstances.

Pour les appareils d'abonnés, le trait le plus saillant est l'abandon presque général des transmetteurs à crayons pour des transmetteurs à poudres ou à granules, qui semblent donner, même à force électromotrice réduite, un volume de voix plus considérable, se prêtant mieux à la conversation sur les très longues lignes aériennes ou sur les conducteurs comportant des parcours en câble étendus. La pratique des divers fabricants est d'ailleurs peu concordante quant à la nature du charbon ou quant à la forme ou la dimension des grains à employer : certains préconisent les matières cuites à très haute température, que cet échauffement préalable rendrait moins altérables par les étincelles du courant local, d'autres se contentent d'un produit assez dur pour se manier facilement : la poudre irrégulière, obtenue par concassage, et sommairement tamisée, préférée par quelques maisons, d'autres attribuent une supériorité aux grains moulés sphériques. Le diamètre de ces grains ne varie pas moins que le profil des cuvettes qui forment le fond des microphones : boîtes à fonds plats, à fonds striés, à cannelures circulaires, à gradins échelonnés, à cavités ou à reliefs, à pointes de diamant, à brusques ressauts ou à courbe continue, à cavité unique ou à alvéoles multiples, sans qu'aucune idée directrice paraisse se dégager de tant de combinaisons.

Les charbons ne sont point préparés par les constructeurs mêmes qui en font usage, mais sont demandés par eux à quelques spécialistes : la maison Berne, de Paris, et surtout la Société Le Carbone, de Levallois-Perret, présentaient dans leurs expositions particulières la plus grande variété d'objets en charbon moulé et cuit; la finesse de grain de la matière, l'avantage de pouvoir la façonner avant cuisson, la dureté variable à volonté qu'elle prend par le passage au four, le travail à l'outil tranchant dont elle devient alors susceptible, ont semblé à tous égards dignes du plus grand intérêt.

Dans la plupart des pays étrangers, un petit meuble comprend tous les organes nécessaires à un poste d'abonné, la pile de microphone étant le plus souvent dissimulée

sous un pupitre ou un accoudoir; cette disposition, où tout se trouve rassemblé à l'avance dans un ordre invariable, facilite grandement le travail de pose et diminue les chances de dérangements intérieurs. Les maisons Siemens et Halske et Hardegen, de Berlin, avec les types adoptés par le service allemand; l'Administration belge, la Direction des postes et des télégraphes de Russie, les maison Erikson et Siemens et Halske de Saint-Pétersbourg; la Société du bureau électrique de Christiania; Czeija, Nissl et Cie, de Vienne; Deckert et Homolka, de Vienne et de Budapest, présentaient des ensembles de ce genre avec sonnerie, magnéto, paratonnerre et boîte à pile. La Western electric Co, de Chicago, et les maisons américaines montraient de préférence les postes avec microphone à grande résistance destinés aux réseaux à batteries centrales, et ne comportant plus ni magnéto ni pile. En France, au contraire, les divers éléments de l'installation sont montés séparément; des conditions assez rigoureuses tant au point de vue électrique qu'à celui de l'exécution mécanique, étant d'ailleurs imposées aux fabricants qui désirent faire admettre leurs modèles sur les réseaux publics, le travail de ces appareils français est en général très soigné. On ne peut que citer, sans prétendre établir un classement, les maisons Aboilard et Cie, Bréguet, Burgunder, Darras, Digeon, Eurieult, Mildé, Postel-Vinay, Société industrielle des téléphones, Téléphonie nouvelle, Wéry et Wich.

La liaison des abonnés entre eux demande des moyens d'action bien différents selon le nombre des lignes à recevoir. Rien de plus aisé tant qu'il n'y a pas plus de deux ou trois cents fils: deux ou trois téléphonistes sont en mesure d'assurer le service, toute l'installation, de dimensions très restreintes, est concentrée sous leurs yeux, à portée de leurs mains, et il suffit de leur fournir, sous une forme quelconque, la plus robuste possible, les quelques organes nécessaires aux manœuvres, les annonciateurs qui avertissent des appels formés, les jacks ou prises de contact sur les lignes, les fiches et cordons par lesquels les lignes à relier seront jointes, les clefs qui donnent le moyen de rentrer sur le circuit pour parler, pour écouter ou pour sonner, les annonciateurs de fin qui avisent de rompre la communication, les prises et annonciateurs spéciaux destinés aux fils à long parcours. Les opérations, dans un tel cas, ne sont point si fréquentes, et l'étendue du tableau où elles s'exécutent n'est point si large qu'il vaille la peine de chercher des simplifications de manœuvre au prix d'une complication du mécanisme. Plus l'ensemble est rustique et ramassé, plus il est de montage, de vérification et d'entretien aisés, et mieux il convient pour ces petites localités où l'on ne peut disposer en permanence d'un agent technique. Telle est, à cet égard, la conformité de vues dans les divers pays qu'à la différence près des détails matériels de la construction, on eût pu croire sortis de délibérations communes les tableaux pour petits postes de l'Administration belge, ceux que les Usines d'électricité réunies de Buda-Pesth ont établis pour le service hongrois, et le modèle de l'Administration française, construit par la maison Digeon; la Société industrielle des téléphones exposait un appareil de capacité un peu plus forte, dans les mêmes données. Le Bureau électrique de Christiania et L. Eriksson de Pétersbourg, outre des tableaux de type similaire de la construction la mieux entendue,

montraient aussi, à destination des petites stations lointaines et peu accessibles, pour lesquelles il est avantageux de supprimer absolument l'organe le plus délicat par sa nature, et le plus exposé à avarie par son fonctionnement, le cordon, des appareils où un jack spécial est disposé à l'avance pour toute combinaison possible de deux des lignes reliées, et où il suffit par conséquent d'enfoncer une simple cheville solide dans le jack correspondant pour établir la liaison désirée. A l'inverse, dans les appareils Mandroux, construits par les maisons Mors, Bréguet, etc., les cordons et fiches ne sont plus des organes omnibus, servant indifféremment pour n'importe quelle connexion; mais chacun d'eux fait corps avec la ligne d'un abonné, et sert exclusivement à établir les liaisons demandées par cet abonné; une seule fiche est ainsi manœuvrée en chaque cas, au lieu de deux qu'emploient la plupart des autres appareils, et l'on diminue un peu le travail de la téléphoniste.

Si le nombre des abonnés grandit et que le trafic devienne plus intense, un des points les plus intéressants est que l'oubli ou la négligence du public à donner le signal de clôture, n'ait point pour effet de tenir inutilement occupées en apparence des lignes où la conversation est depuis longtemps terminée, et que d'autres correspondants peut-être attendent impatiemment de pouvoir atteindre. Aussi, un signal de fin de conversation, automatique et sûr, était-il un des désidérata des professionnels de la téléphonie. Le tableau simple, d'une capacité de 500 à 600 lignes, exposé par le General Post Office, fournit une solution excellente, comportant tous les avantages des signaux automatiques d'appel, de supervision et de fin que l'on rencontre dans les multiples les plus perfectionnés, tout en ne mettant en œuvre que des moyens peu dispendieux et permettant l'usage de tous les types de transmetteurs.

Le nombre des lignes croissant encore, pour éviter les renvois de téléphoniste à téléphoniste, préjudiciables à la sûreté et à la promptitude des liaisons, on a recours aux tableaux multiples. L'idée-mère de ces organisations est de rassembler sous la main de chaque opérateur les moyens complets de donner satisfaction directe à toute demande, quelle qu'elle soit, formée par un abonné du groupe desservi par cet opérateur à l'adresse de tout autre abonné dépendant du même poste; leur élément essentiel est le tableau des jacks multiplés, sorte de panneau continu où chaque ligne est représentée par une série de prises de contact disposées à intervalles réguliers, en des positions toujours les mêmes; l'écart de deux prises de contact consécutives est défini par la distance à laquelle un opérateur assis peut commodément atteindre des deux bras étendus, à droite et à gauche. Dans l'espace ainsi délimité en développement et en hauteur sont logées les prises de contact de toutes les lignes rattachées au bureau, et l'ensemble de ces jacks se répète identique à lui-même autant de fois qu'il est nécessaire d'après le nombre des téléphonistes qui concourent simultanément au service. Chacune de celles-ci, dans ces conditions, à quelque place qu'elle soit stationnée devant le tableau, trouve à portée de la main toute ligne qui peut lui être demandée. Tel est le principe, qu'il n'a point été trop difficile de réaliser matériellement, tant que l'on n'avait pas à grouper plus de 6,000 à 7,000 lignes. Du jour où il fallut aborder des nombres

plus considérables, l'espace disponible et utilisable restant d'ailleurs le même, défini qu'il est par les conditions mêmes du travail, les constructeurs ne purent envisager que deux procédés : réduire les dimensions individuelles des organes au minimum compatible avec les exigences de solidité, rejeter en dehors du tableau proprement dit tout ce qui peut être soustrait à la manipulation directe. D'autre part, moins les manœuvres sont compliquées, soit pour l'établissement ou la rupture des communications, soit pour le contrôle de leur achèvement, et plus grand est le nombre des lignes dont on peut donner charge à une même téléphoniste. D'où la possibilité, par le perfectionnement des procédés de manœuvre, de réduire le nombre des opérateurs nécessaires, de diminuer par conséquent le nombre des places à prévoir devant le tableau, de restreindre l'étendue de ce tableau, le nombre des organes qui se répètent de place en place, et finalement d'abaisser les frais dans une large mesure ; il y a donc intérêt majeur à simplifier autant que possible le travail de la téléphoniste. Les appareils exposés mettaient en lumière cette double tendance.

La section de tableau, présentée par la Société industrielle des téléphones, montre toute l'étendue disponible réservée aux seuls jacks, et les annonciateurs reportés à la partie supérieure du meuble, bien en vue de la téléphoniste, mais hors de portée de sa main, un électro-aimant local ayant pour fonction de remettre l'annonciateur au repos, au moment même où la téléphoniste répond au signal de cet annonciateur. Il y a meilleure utilisation de l'espace accessible, et suppression d'une manœuvre à chaque appel de l'abonné au bureau.

Le bruit que fait, en tombant, le volet de l'annonciateur doit attirer l'attention de la téléphoniste, et, au sentiment de certains, mieux vaut faire intervenir à la fois l'ouïe et la vue que de laisser à l'œil tout le soin de la surveillance. D'autres, au contraire, estiment qu'on ne saurait compter, dans le bruit général du bureau, sur un signal d'avertissement d'aussi courte durée, qu'on ne saurait d'ailleurs rendre plus sonore sans créer aussitôt un tumulte inadmissible; ils pensent d'autre part qu'il n'est pas sans inconvénient de partager l'attention de l'opératrice entre deux parties du meuble assez distantes angulairement pour n'être pas comprises à la fois dans le champ visuel, — les panneaux d'annonciateurs reportés au haut du meuble, et les tables à clefs placées à la base, en dessous des jacks multiplés ; — on a cru aussi qu'on épargnerait peut-être quelque hésitation, qu'on gagnerait quelque délai, si le signal était placé à côté même de la ligne dont il dépend. Les Établissements Postel-Vinay ont, dans cet ordre d'idées, établi un tableau très intéressant, où les courants de ligne agissent sur des relais délicats, et où ceux-ci actionnent en local des signaux auxquels l'intensité des courants qui les traversent permet de donner des dimensions très réduites ; le signal d'appel se loge directement au-dessus du jack de ligne correspondant et ne tient pas plus de place; le signal de fin trouve sa place dans la table à clefs, en regard de sa paire de cordons. Dans ce signal, dont la disposition générale est d'un solénoïde allongé, le voyant est un disque de couleur vive qui apparaît à l'entrée d'une douille et tranche sur la teinte sombre des parties voisines.

Pour ces mêmes usages, le multiple à batteries centrales de la Western Electric C°, de Chicago, est pourvu de petites lampes à incandescence abritées sous des écrans de verre opalin, qui s'allument lorsque le courant de ligne actionne le relai correspondant. Une très intéressante particularité de ce système est la suppression des piles de transmission chez les abonnés, remplacées par une unique batterie d'accumulateurs placée au poste central; le transmetteur de chaque abonné, sa ligne et le premier enroulement d'une bobine d'induction de forme spéciale placée au poste central, constituent le circuit de transmission et agissent sur les éléments symétriques de la ligne reliée; pour que la résistance invariable des fils de ligne et de la bobine d'induction ne réduise pas à une valeur relative trop faible les variations de résistance développées par la parole dans le microphone transmetteur, il est nécessaire de rendre ces variations plus considérables que d'habitude, et de se servir de transmetteurs spéciaux à grande résistance. Le signal d'appel se produit automatiquement dès que le récepteur est détaché de son crochet, par la suppression d'une résistance très élevée intercalée, au poste de l'abonné, sur le circuit d'une batterie comprenant le relai d'appel; un autre signal paraît dès que l'un ou l'autre des correspondants se retire, la conversation n'étant tenue pour achevée et les fiches retirées que quand les deux signaux sont allumés à la fois et accusent le départ des deux correspondants. Le travail de la téléphoniste est ainsi guidé de la façon la plus sûre.

La maison Siemens et Halske exposait une section de multiple, de la capacité de 14,000 lignes, présentant les dispositions les plus curieuses. Là aussi, les signaux d'appel et de fin sont automatiques, mais on a évité la complication des relais par l'emploi d'organes très sensibles. L'annonciateur d'appel est un électro-aimant Hughes, très étroit et allongé, dont l'armature, en se détachant, fait paraître un voyant à l'entrée d'une douille, laquelle constitue le jack de réponse : en sorte que la fiche même qui établit la communication, remet l'annonciateur en position de repos. L'annonciateur de fin est un galvanoscope sensible et apériodique, qui amène un voyant en regard d'une fenêtre au moment où l'abonné appelant, se retire de la ligne. Pour l'un et l'autre signal, les batteries de manœuvre sont concentrées au poste central, et le moyen de les rendre, selon les besoins, actives ou inactives, consiste à retirer du circuit ou à y faire rentrer de minuscules éléments secondaires formés de deux brins de fil de platine soudés dans un bout de tube de verre contenant de l'acide sulfurique et scellé à la lampe : un de ces éléments de polarisation, qui n'offre pas de résistance appréciable aux courants alternatifs d'un téléphone ou d'une magnéto, développe, en opposition à une pile voltaïque, une force électromotrice d'environ 2 volts. Un dispositif automatique retire du circuit l'appareil de l'opérateur aussitôt la communication établie, et le remet en liaison avec toute paire de fiches encore au repos ou en cours de manœuvre. On avait adopté pour le panneau de jacks multiplés, la disposition en forme de table horizontale, qui, donnant accès par les deux côtés à la fois, permet de réduire à moitié le multiplage nécessaire pour un effectif donné de téléphonistes : les difficultés de montage auxquelles a donné lieu jusqu'ici cet arrangement, avaient été fort heureusement résolues :

la facilité avec laquelle chaque jack, chaque annonciateur pouvait être individuellement retiré pour réparation, n'était pas un des côtés les moins remarquables de ce bel appareil.

Depuis longtemps, dans tous les réseaux de quelque importance, on a reconnu l'avantage, autant pour la sûreté et la promptitude de la recherche que pour la commodité des appareils, de désigner les abonnés, non point par leur nom, mais par un numéro d'appel qui énonce la position de leur ligne sur le tableau. Ce numéro, qui devient pour son titulaire comme une sorte d'adresse abrégée, tout analogue aux adresses convenues devenues si usuelles en télégraphie, ne doit être changé que le moins possible et seulement pour des motifs pressants. D'autre part, une des premières conditions d'une exploitation régulière, est de pouvoir répartir le travail également entre les téléphonistes. Les organes intermédiaires qui permettent soit d'amener une ligne extérieure sur telle ou telle partie d'un multiple, soit d'en déplacer l'annonciateur et le jack de réponse tout en laissant invariables le numéro d'appel et, par suite, la place du jack multiplé, sont donc de première importance, quoique n'intervenant pas directement dans les manœuvres de mise en communication. La maison Siemens et Halske, la Western Electric C° en montraient des modèles intéressants par la netteté de disposition, l'ordre et le classement des fils, et la facilité des changements.

Jusqu'ici les tarifs à forfait ont été de règle à peu près générale pour le payement du service téléphonique, par la difficulté même d'établir la base de toute autre tarification. Ce n'est que dans certains pays à trafic peu intense, que l'on avait réussi à faire tenir note par les téléphonistes des communications demandées par chaque abonné : mais ce système, outre qu'il est peu sûr, devient impraticable dès que le mouvement des communications grandit et que l'opérateur a son temps rempli par les manœuvres, sans rien en pouvoir distraire pour des écritures. Deux types de compteurs de communications étaient exposés, l'un par la Western Electric C° qui doit fonctionner au bureau central, l'autre par M. Séligmann-Lui, destiné à être mis au domicile de l'abonné.

Dans les dépenses d'exploitation téléphonique, la part qui correspond aux salaires du personnel manipulant est très importante. S'il pouvait être créé des appareils automatiques dispensant de l'emploi de téléphonistes et présentant d'ailleurs des garanties de fonctionnement régulier, il y aurait sûrement économie à s'en servir, lors même que leur inévitable complication conduirait à un prix de premier établissement fort supérieur à celui de l'outillage actuel. Depuis bien des années déjà, il a été fait usage d'appareils répondant partiellement à ce besoin, et permettant à de petits groupes d'abonnés de rattacher leurs lignes individuelles à un tronc principal commun allant rejoindre le bureau central exploité par les procédés ordinaires, et d'obtenir leurs communications indépendamment les uns des autres, sans intervention humaine au point de jonction. Ces combinaisons sont particulièrement intéressantes dans les pays à population clairsemée, où la longueur et le coût aussi bien des branches que du tronc commun, peuvent être considérables, et où la jonction peut s'opérer loin de toute localité habitée. La maison L. Eriksson, de Pétersbourg, présentait un distributeur de ce genre pour six lignes convergentes.

Un pas de plus dans cette voie était réalisé par l'appareil de M. Pehrson, de Neddevella (Suède), où le poste central lui-même est entièrement automatique, et où une quarantaine d'abonnés peuvent directement se mettre en relation les uns avec les autres.

Il n'a pas été créé jusqu'ici d'appareils téléphoniques spéciaux pour la parole à très longue distance. Pour amplifier le volume de son, pour faire, suivant le terme usuel, un téléphone haut-parleur, point n'est besoin de dispositions particulières, un pavillon de dimensions appropriées suffit : au stand des Établissements Postel-Vinay, un téléphone ordinaire de réseau, complété par un cornet, se faisait entendre bruyamment à plusieurs pas, aussi bien dans la voix parlée que dans la musique. Mais cette production d'un son amplifié n'a, en réalité, rien de commun avec le problème de la parole sur les très longs fils : elle suppose, en effet, que les ondes électriques parviennent au récepteur distinctes et énergiques, et c'est précisément parce qu'en traversant un conducteur résistant ces ondes s'affaiblissent, se pénètrent, se confondent, que la parole devient moins claire et perceptible sur les très grands parcours. On reculera quelque peu cette limite où l'audition devient incertaine, en supprimant, comme l'a fait M. Massin, toute résistance et toute self-induction inutiles, en mettant les récepteurs en court-circuit pendant que l'on transmet, et ne les rétablissant que quand il s'agit de recevoir.

Le télégraphone Paulsen aborde la question par un tout autre aspect : il fournirait à la téléphonie, sous une forme d'une simplicité surprenante, le relai qui lui fait encore défaut. Dans cet appareil, un fil ou un ruban d'acier se déroule à grande vitesse entre les pôles très rapprochés d'un petit électro-aimant qui fait partie d'un circuit téléphonique et y joue à peu près le rôle d'un téléphone récepteur dont aurait été supprimé le diaphragme : le fil reçoit ainsi en ses différents points une succession d'influences magnétiques variables, correspondant à la succession des courants ondulatoires constituant la transmission. Sous ces influences, il se produit comme un enregistrement magnétique reproduisant de façon durable les inflexions de la voix parlée. Et lorsque, par un mécanisme inverse, ce même fil passe entre les pôles d'un électro-aimant semblable, jouant cette fois le rôle de transmetteur dans un second circuit téléphonique, la parole est restituée avec toutes ses délicatesses, avec une pureté de son et de timbre toutes semblables à celles d'une transmission téléphonique directe. Mais il y a plus, et l'inscription magnétique, directement fixée sur le premier fil, peut servir à développer successivement sur d'autres fils semblables une série d'autres enregistrements identiques susceptibles chacun d'opérer comme transmetteurs; et l'accouplement de ces divers fils, écrits, si l'on peut dire, les uns après les autres, pour un effet de retransmission simultané, permet d'obtenir un volume de voix renforcé. Il devient possible, dès lors, non seulement de sectionner une distance en plusieurs circuits de l'un à l'autre desquels la parole passe sans s'affaiblir, mais même d'utiliser pour la transmission sur chacune de ces sections un effet magnétique plus intense que celui qui avait été développé par la parole initiale.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Pour des applications spéciales, des auditions de théâtre ou de musique, où la distance à franchir n'est jamais bien considérable, mais où il importe d'obtenir le son le plus pur et en même temps le plus intense possible, la Compagnie du Théâtrophone de Paris a créé tout un matériel et une organisation spéciale : microphones et piles puissantes au départ, câbles à résistance réduite de la scène à l'origine du réseau de distribution, et, à l'arrivée, récepteurs combinés, à la fois délicats et capables d'un fort volume de son. Plus considérable encore est l'entreprise du Telefon Hirmondo, de Buda-Pest, qui exposait les plans de son réseau et les spécimens des appareils employés dans cette installation sans doute unique au monde : un bureau central, placé au point de convergence d'une série de circuits en boucle, transmet à ses clients pendant le jour les nouvelles, les cours, les renseignements de toute espèce, et, le soir, des auditions de musique ou de théâtre. Le développement des fils dépasse aujourd'hui 1,000 kilomètres; le nombre des abonnés est de plus de 7,000.

La facilité de pose et d'emploi du téléphone, le prix très bas des conducteurs nécessaires, la possibilité de franchir, même avec les instruments les plus rudimentaires, des distances peu praticables pour les porte-voix et cornets acoustiques, ont donné une grande extension à la téléphonie domestique. Il n'est plus guère de grande maison de commerce, d'usine, d'hôtel, et, à plus forte raison, de gare de chemins de fer, où un réseau intérieur souvent fort compliqué ne mette en relation les divers services. Tantôt de simples tableaux d'appel, réduction de ceux qui servent pour la téléphonie de ville, servent pour la transmission d'avis verbaux, tantôt ils se complètent par des organes à signaux convenus ou à indications persistantes, laissant subsister la trace soit de l'appel, soit de l'ordre donné, jusqu'à ce qu'il ait été rendu réponse. Pour ce matériel, placé le plus souvent dans les mains d'un public de passage, une extrême solidité et une absolue facilité d'emploi sont les conditions dominantes : les maisons Bénard, Burgunder, Charron et Bellanger, Gallais, le Home Telephone, Lorry et Pernet, Mildé, Woittequand pour la France; Deckert et Homolka pour l'Autriche; Hurel et Mauger, Patrick Carter et la Herzog Teleseme C° pour les États-Unis, montraient des spécimens variés, bien combinés et bien construits, des divers accessoires propres à ces usages.

Quoique, jusqu'à présent, les phonographes ne soient point encore intervenus dans les procédés de transmission rapide de la parole à distance, c'est à la Classe 26 qu'avaient été classés les instruments de cette sorte. Une notable augmentation du volume de son permettant de les faire entendre par un auditoire, une amélioration du timbre, et notamment la suppression du nasillement si désagréable qui se produisait quand la voix commençait à s'élever, enfin la construction courante, à bas prix, quoique précise comme il est nécessaire en pareil cas, tels étaient les points qui ont paru les plus dignes de remarque, sans que l'on pût toutefois mentionner aucune innovation bien caractérisée.

La plupart des maisons qui exposaient des appareils télégraphiques ou téléphoniques, présentaient en même temps des objets de nature ou de type très divers; et c'est par la

considération de l'ensemble que le Jury a été amené à proposer une récompense ou une autre : il n'aurait donc pas été possible de rappeler ici, à propos de chacun des noms cités, l'appréciation correspondante, et on ne peut que résumer les résultats généraux de l'étude faite. En dehors des diplômes divers attribués aux Administrations et Services d'États qui s'étaient fait représenter à l'Exposition, il a été décerné aux maisons exposantes :

Diplômes de grand prix	10	Médailles de bronze	33
Médailles d'or	20	Mentions honorables	9
Médailles d'argent	31		

Et, en outre, aux collaborateurs :

Médailles d'or	18	Médailles de bronze	43
Médailles d'argent	36	Mentions honorables	25

CLASSE 27

Applications diverses de l'électricité

RAPPORT DU JURY INTERNATIONAL

PAR

M. E. CHAPERON

RAPPORTEUR

INGÉNIEUR, CHEF DE DIVISION À LA COMPAGNIE PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE

IMPRIMERIE NATIONALE.

COMPOSITION DU JURY.

BUREAU.

MM. le docteur D'ARSONVAL (Arsène), membre de l'Institut et de l'Académie de médecine, ancien président de la Société internationale des électriciens, professeur au Collège de France (président des comités, Paris 1900), *président* . . . . . France.

HARTMANN (Eugène), ingénieur électricien, instruments de précision, à Francfort-sur-le-Mein, *vice-président* . . . . . Allemagne.

CHAPERON (Charles-Émile), ingénieur des arts et manufactures, chef de division à la Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée (médaille d'or, Paris 1889; rapporteur des comités, Paris, 1900), *rapporteur* . . . . . France.

SARTIAUX (Eugène), ingénieur en chef des services électriques au Chemin de fer du Nord (comités, Paris 1889, 1900: médaille d'or, Paris 1889), président de l'Association des ingénieurs électriciens et du Syndicat professionnel des industries électriques, *secrétaire* . . . . . France.

JURÉS TITULAIRES FRANÇAIS.

MM. le docteur BERGONIÉ (Jean), correspondant national de l'Académie de médecine, professeur à la Faculté de médecine de Bordeaux, chef du service électrothérapique des hôpitaux, directeur des *Archives d'électricité médicale* (comités, Paris 1900), à Bordeaux (Gironde) . . . . . France.

DUMONT (Georges), ingénieur des arts et manufactures, ingénieur des services techniques de l'exploitation des chemins de fer de l'Est, professeur à l'École des hautes études commerciales, ancien président de la Société des ingénieurs civils de France (comités, médaille d'or, Paris 1889; comités, Paris 1900) . . . . . France.

GAIFFE fils (Georges), appareils médicaux (comités, Paris 1889, 1900) . . France.

JURÉS TITULAIRES ÉTRANGERS.

MM. LEWIS (R. C.), ingénieur électricien . . . . . États-Unis.

le major général WEBBER (C. B.) [R. E.] . . . . . Grande-Bretagne.

le docteur WEBER (F.), professeur technique et mathématique à l'École polytechnique fédérale, à Zurich . . . . . Suisse.

EXPERTS.

MM. ALIAMET (Maurice), inspecteur-chef de laboratoire électrotechnique à la Compagnie du chemin de fer du Nord . . . . . France.

le docteur TRIPIER (Auguste), président de la Société française d'électrothérapie . . . . . France.

APPLICATIONS DIVERSES DE L'ÉLECTRICITÉ.

INTRODUCTION.

La Classe 27 a pour titre : Applications diverses de l'électricité, et comprend : les appareils scientifiques et les instruments de mesure, l'électricité médicale, l'horlogerie électrique, les applications aux chemins de fer, mines et travaux publics, les indicateurs et enregistreurs à distance pour les phénomènes de toute nature, enfin les appareils de chauffage par l'électricité.

Le présent rapport se compose donc de six parties, dans chacune desquelles viennent se grouper les appareils se rapportant aux catégories indiquées par la classification.

Les fours et la soudure électriques avaient été compris dans la Classe 27, mais il a paru plus rationnel de rattacher à la Classe 24 (Électrochimie) les questions se rapportant à ces deux spécialités.

Dans l'examen des produits exposés, le Jury s'est attaché à récompenser les inventeurs ou constructeurs d'appareils ayant des ateliers aménagés pour construire eux-mêmes, et non les exposants dont le rôle est limité à la vente dans des magasins ou dans des dépôts.

Quelques ouvrages traitant des questions se rattachant de près ou de loin à la Classe 27 étaient exposés par des auteurs français ou étrangers; il n'a pas paru au Jury qu'il y eût lieu de les récompenser, les récompenses devant, dans son esprit, être attribuées spécialement à des appareils ou à des applications industrielles.

Au Groupe V était annexée l'exposition centennale de l'électricité organisée par M. Eug. Sartiaux et dans laquelle la Classe 27 était représentée par un certain nombre d'appareils et d'ouvrages techniques. Parmi les appareils nous relaterons ici les principaux, dont quelques-uns sont antérieurs au siècle dernier. Nous trouvons ainsi : dans l'électrostatique, les machines électriques de Nairne (1774) et de Van Marun (1797), la balance de Coulomb (1785); puis, dans la même classe, deux machines électriques, l'une à frottement, de Péclet (1846) l'autre, à écoulement d'eau, de Lord Kelvin (1860); un électroscope de Zamboni (1812); dans la classe des appareils de mesures figurent : une balance électro-magnétique de Becquerel (1837); un galvanomètre à deux cadres avec microscope, du même auteur (1837); une boussole des tangentes, de Pouillet (1830); un galvanomètre, de Nobili (1840); un étalon de résistance au mercure, de Pouillet (1846); un étalon de résistance, de Siemens (1860); une machine à mesurer la vitesse de l'électricité, de Fizeau et Gonnelle (1862); une boussole des sinus (1870); un étalon prototype de l'ohm légal au mercure (1883); un thermomètre thermo-élec-

trique, de Becquerel (1830); un galvanomètre à arête de poisson, de Marcel Deprez (1883); un galvanomètre Deprez-d'Arsonval (1883). Dans l'électro-magnétisme figurent : une grande bobine de Masson avec interrupteur à roues (1842); un appareil de Mouton à contacts tournants, pour déterminer la forme des courbes de tension des bobines de Ruhmkorff (1878); enfin, un certain nombre de tubes à étincelles, de E. Becquerel, pour l'analyse spectrale (1867) et un rhéostat liquide du même auteur (1876).

Un grand nombre d'ouvrages, de notes ou de manuscrits constituent, pour ainsi dire, l'histoire de l'électricité depuis 1562 jusqu'à nos jours. Parmi les auteurs qui ont traité les questions se rattachant à la Classe 27 nous citerons : Joanne Taisniero Hannonio, au XVIe siècle; Guillaume (Gilbert), Cabeo Nicolao, Kircher, au XVIIe siècle; l'abbé Nollet, Morin, Franklin, l'abbé Mangin, l'abbé de Vallemont, l'abbé Poncelet, Priestley, Toaldo, Le Monnier, Marat, Coulomb, Van Marum, l'abbé Bertholon, Haüy, Buffon, au XVIIIe siècle; Azuni, Libes, Gay-Lussac, Thénard, Oersted, les Becquerel, Lapostolle, Ampère, Babinet, Savary, Ohm, La Beaume, Murray, Klaproth, Péclet, Masson, Arago, du Moncel, de Morogues, A. Becquerel, Philips, Regnault, Faraday, le Dr Hiffelsheim, Bréguet, Seguin, Dr Bonnejoy, l'abbé Colladon, Verdet, Pouillet, Milsens, Blavier, au XIXe siècle.

Pour accomplir la mission dont nous avions été chargé, nous avons trouvé, de la part des exposants français et étrangers le plus grand empressement à nous fournir des explications et des notices détaillées sur un grand nombre d'appareils figurant à l'Exposition.

Nous avons, en outre, à adresser tous nos remercîments, d'une part, à M. Aliamet, l'un des experts de la Classe 27, qui nous a procuré des renseignements très complets sur les appareils de mesure; d'autre part, à M. le docteur Bergonié, membre du Jury de la Classe 27, qui a bien voulu se charger, avec une compétence toute spéciale, de la rédaction de la partie du rapport relative à l'électricité médicale.

PREMIÈRE PARTIE.

APPAREILS SCIENTIFIQUES ET INSTRUMENTS DE MESURE.

Il n'est guère possible aujourd'hui d'établir une distinction entre les *appareils scientifiques* et les *instruments de mesure;* il serait plus rationnel d'appeler les premiers *appareils de laboratoire* et les seconds *appareils industriels,* et encore, dans bien des cas, les appareils de laboratoire ont été disposés pour être installés sur des tableaux de distribution d'énergie électrique et deviennent ainsi des appareils industriels.

Il n'est pas d'atelier de construction ou d'usine destinée soit à la production de l'énergie électrique, soit à son utilisation sous une forme quelconque, qui ne soit pourvue d'un laboratoire dans lequel toutes les études et les vérifications nécessaires, pour obtenir le meilleur rendement des machines ou des appareils récepteurs, ne soient faites par des savants ou des ingénieurs-électriciens. Dans ces conditions il est naturel que le théoricien et le praticien utilisent le même matériel technique. Les procédés empiriques employés autrefois ont été remplacés, surtout depuis l'Exposition d'électricité de 1881, par des méthodes scientifiques qui servent à résoudre mathématiquement, dans tous les pays, les problèmes si variés qui se présentent dans l'industrie électrique.

Depuis l'Exposition de 1889, l'éclairage et la traction électriques se sont développés dans des proportions considérables; l'emploi des courants alternatifs à haute tension permet de transmettre économiquement l'énergie à grande distance, et les transformateurs statiques donnent une solution élégante et simple pour l'utilisation à basse tension des courants ainsi transmis. Les courants polyphasés à haute tension présentent en outre l'avantage de pouvoir être utilisés, avec ou sans transformateurs, pour actionner des réceptrices, sans craindre les difficultés de démarrage que l'on rencontre avec les courants alternatifs simples. Aussi l'emploi des courants de cette nature, qui s'est rapidement étendu dans ces dernières années, a-t-il donné lieu à des problèmes nouveaux, qui ont amené les constructeurs d'appareils de mesure à établir des instruments spéciaux, tant pour les laboratoires, en raison des études qui en ont été la conséquence, que pour l'industrie elle-même, qui a eu à en faire l'application. En outre, avec l'augmentation du nombre des établissements construisant des machines dynamo-électriques, et la concurrence qui en est résultée, la question de rendement a été une des principales préoccupations de ceux qui ont eu à faire des installations industrielles; d'où des recherches de plus en plus précises dans le choix des métaux à employer, et des soins de plus en plus grands dans les détails de construction des machines.

Tous ces perfectionnements n'ont pu aboutir à un résultat sérieux, qu'à la suite d'études approfondies dans lesquelles les appareils de mesure ont joué un rôle prépondérant. Les instruments destinés à étudier les propriétés magnétiques du fer ou des alliages, employés aujourd'hui dans la construction des appareils, ont été réalisés par plusieurs constructeurs en France et à l'étranger et constituent les perméamètres. La

mesure de l'hystérésis présente aussi un intérêt sérieux dans le même ordre d'idées, et l'hystérésimètre permet d'en apprécier la valeur.

Les instruments étalons, nécessaires pour régler les appareils de laboratoire en vue des mesures précises, sont établis par un grand nombre de constructeurs sous forme de piles-étalons, condensateurs-étalons, et étalons de self-induction. Des maisons françaises, allemandes et anglaises ont développé la construction des potentiomètres, dont le premier a été étudié par Clark, et qui ont l'avantage de permettre, avec un seul appareil, les mesures d'intensité, de tension et de résistance.

L'emploi des courants alternatifs et polyphasés a donné lieu à la construction d'appareils de mesure divers basés sur l'induction en même temps qu'il a développé l'utilisation des appareils thermiques. Les wattmètres d'induction et à champ tournant fournissent la mesure exacte de la puissance et en donnent l'enregistrement d'une façon continue. Les phasemètres et les fréquencemètres permettent de vérifier à chaque instant si la marche des machines conserve bien la régularité voulue. Enfin, avec les oscillographes et les rhéographes, on obtient la représentation et l'inscription exactes des courbes des courants alternatifs.

On peut juger, d'après le rapide exposé qui précède, de l'importance qu'a prise depuis une dizaine d'années la construction des instruments de mesure. Aussi cette industrie est représentée à l'Exposition de 1900 par trente-neuf maisons importantes de France, d'Allemagne, d'Angleterre, des États-Unis, de Hongrie et d'Italie, qui exposent chacune une série d'appareils de toute nature destinés, soit aux études de laboratoire, soit aux applications industrielles.

Il nous paraît juste de citer ici les noms des savants, ingénieurs et constructeurs qui ont contribué au développement de cette industrie depuis l'Exposition de 1889, soit en créant des appareils nouveaux, soit en perfectionnant la construction des appareils déjà connus de manière à les amener au degré de sensibilité et d'exactitude exigé aujourd'hui dans l'industrie électrique.

En France : MM. le professeur d'Arsonval, Abraham, Blondel, Blondlot, Carpentier, Curie, Marcel Deprez, Joubert, Le Chatelier, Lippmann, Pellat; les maisons Bréguet, Chauvin et Arnoux, Ducretet, Gaiffe, Richard, Société des Téléphones.

En Allemagne : MM. Brüger, Benischke, du Bois, Edelmann, Ferraris, Jordan, Dr Horn, Otto Wolff, Dr Raps, Stieberitz, Wiedmann; les maisons Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, Hartmann et Braun, Keiser et Schmidt, Siemens et Halske.

En Angleterre : MM. le professeur Callendar, Duddel, Lord Kelvin; les maisons Cambridge scientific instruments Cy, Crompton, J. White.

Aux États-Unis : M. Weston; en Italie : M. le professeur Riccardo Arno et la maison Olivetti; en Hongrie : M. le professeur Hoor et la maison Ganz.

Nous avons adopté, dans la nomenclature des divers appareils de mesure exposés chez les constructeurs français et étrangers, la classification employée d'ordinaire et nous

avons par suite divisé le rapport en un certain nombre de chapitres ayant trait respectivement aux mesures d'intensité, de tension, de résistance et de puissance. Les chapitres qui suivent comprennent : les appareils permettant d'effectuer à eux seuls toutes les mesures, les appareils destinés à la mesure des capacités et des coefficients d'induction, ceux servant à l'étude des propriétés magnétiques du fer, ceux destinés spécialement à l'étude et à la mesure des courants alternatifs, enfin les appareils divers, tels que les pyromètres, slipmètres, etc.

Nous nous sommes borné à citer les appareils, dont l'emploi était connu en 1889, sans entrer dans le détail de leur construction, et nous avons réservé une description succinte pour ceux qui, ayant été étudiés et construits depuis cette époque, présentent un caractère de nouveauté ou d'intérêt particulier.

Les appareils de même nature ont été groupés par catégorie et par constructeur, de manière qu'il soit facile de se rendre compte des différences d'emploi et de construction qui les caractérisent.

I. — MESURE DES INTENSITÉS.

APPAREILS À AIMANTS MOBILES. — GALVANOMÈTRES ASTATIQUES.

Indépendamment de galvanomètres Thomson à deux et à quatre bobines facilement démontables, d'un galvanomètre balistique et de boussoles des tangentes dont les modèles sont connus, la maison J. Carpentier expose un galvanomètre Broca dont la sensibilité est équivalente à celle des appareils précédents.

L'équipage mobile est composé de deux barreaux longs et minces, parallèles à l'axe de rotation formé par un fil de cocon vertical et situé au milieu de la distance séparant les barreaux. Ceux-ci sont aimantés de façon à constituer un pôle conséquent au milieu et deux pôles de même nom à leurs extrémités, de manière que les pôles en regard des deux barreaux sont de sens contraires; chaque barreau est ainsi astatique par lui-même.

L'équipage est placé entre deux petites bobines dont le centre est à la hauteur des pôles conséquents; il est ainsi à l'abri des variations magnétiques extérieures.

M. Ducretet présente une boussole des tangentes et des galvanomètres Thomson à deux et à quatre bobines. Il expose en outre un galvanomètre différentiel Wiedmann, dans lequel l'aimant, de très petite dimension, a la forme de fer à cheval et se meut dans une petite cavité creusée dans une masse de cuivre rouge. Cette disposition a été indiquée par M. d'Arsonval et a pour but de rendre l'appareil apériodique. Les bobines agissant sur l'aimant sont portées par une règle horizontale divisée, ce qui permet de les écarter chacune de leur côté, l'équipage restant fixé au milieu, et de faire varier la sensibilité dans les limites très étendues. Un aimant directeur surmonte la cage de l'instrument. Celui-ci peut être employé pour les mesures balistiques. Dans

ce cas, l'on enlève la masse de cuivre rouge qui entoure l'aimant pour supprimer l'apériodicité.

La maison Bréguet expose un galvanomètre Thomson à deux bobines et un galvanomètre Thomson différentiel à quatre bobines. Ces appareils, du modèle courant, sont bien établis et tous les détails en sont particulièrement soignés.

MM. Hartmann et Braun, de Francfort, exposent des galvanomètres à aiguille et des appareils transportables à lunette apériodiques. Ces appareils comprennent un support circulaire, muni de vis calantes, sur lequel est un niveau à bulle d'air. Au centre est un axe autour duquel peut pivoter le chariot porte-lunette équilibré par un contrepoids. L'équipage mobile est constitué par un aimant en forme de cloche, suspendu par un fil de cocon. De chaque côté de l'aimant sont les bobines dans lesquelles passe le courant qui développe le flux. Les oscillations sont amorties jusqu'à l'apériodicité par un amortisseur en cuivre. Un aimant directeur mobile, placé latéralement, augmente l'astaticité du système. Les bobines sont facilement démontables pour répondre aux besoins des diverses expériences que l'on peut avoir à faire. Un bouton moleté permet d'immobiliser l'équipage mobile et par suite rend l'appareil transportable.

Dans un autre instrument du même genre, présenté par la même maison, les bobines peuvent se déplacer le long d'une règle graduée d'après le système Wiedemann. Un anneau en fer doux, divisé dans le sens de la hauteur en deux parties pouvant tourner l'une sur l'autre, entoure la partie mobile et la protège contre les actions magnétiques extérieures. En faisant tourner les deux parties du cylindre de fer doux l'une sur l'autre, on peut arriver à éliminer toute polarisation. Cet appareil ne peut être transporté comme le précédent.

Un galvanomètre astatique et apériodique à miroir figure également parmi les instruments exposés par MM. Hartmann et Braun. L'aimant est constitué par deux lames accouplées suspendues verticalement, ou par quatre lames, deux à deux, dans le prolongement l'une de l'autre, de manière à produire l'effet indiqué plus haut dans le galvanomètre Broca.

La maison Siemens et Halske, de Berlin, construit des galvanomètres astatiques extrêmement sensibles, étudiés par MM. du Bois et Rubens. Ces appareils présentent cette particularité d'être entièrement enveloppés dans une double cuirasse en fer doux, destinée à les protéger contre les variations magnétiques extérieures. Ce constructeur expose deux modèles de ces instruments. Dans le petit modèle, les enveloppes sont sphériques, et dans l'intervalle qui les sépare se loge une paire d'aimants directeurs en arc de cercle, qui peuvent être manœuvrés de l'extérieur au moyen de deux tiges cylindriques sortant de la partie supérieure de la sphère. Une seconde paire d'aimants directeurs se meut extérieurement sur une tige verticale. L'appareil est muni de deux équipages astatiques : l'un relativement lourd pour les observations courantes, l'autre très léger, avec de très petits aimants, pour les expériences plus délicates. Les bobines sont montées chacune dans une carcasse hémisphérique en acier fondu. Un jeu de ces

bobines de 2,000 ohms 5 et 100 ohms est adjoint à l'instrument pour les différents cas qui peuvent se présenter.

Dans le grand modèle, le nombre des bobines est de quatre, et les enveloppes sont cylindriques. Celle extérieure est mobile dans le sens vertical. Il y a deux paires d'aimants directeurs, l'une au-dessus, l'autre au-dessous de l'enveloppe.

Dans les appareils exposés par M. le docteur Edelmann de Munich, figure un micro-galvanomètre astatique de Rosenthal. Cet instrument est à quatre bobines et est muni d'un équipage à aimants verticaux et parallèles, analogue à celui du galvanomètre exposé par MM. Hartmann et Braun, mais avec cette différence que les extrémités des aimants sont recourbées. D'autres galvanomètres à torsion et du genre Wiedemann sont également présentés par ce constructeur.

MM. Keyser et Schmidt, de Berlin, exposent de leur côté des galvanomètres à aimant mobile différentiels et un galvanomètre astatique à réflexion analogues à ceux que nous avons cités plus haut.

La maison Olivetti, d'Italie, expose des galvanomètres Thomson à deux bobines, à équipage mobile astatique. Le fil de suspension est un fil de quartz. Ces appareils sont d'une construction très soignée dans tous leurs détails.

Enfin nous trouvons dans les instruments exposés par M. James White, de Glascow, différents types de galvanomètres Thomson à deux et à quatre bobines, appareils qui ont été construits dès l'origine par cette maison, constructeur habituel de sir W. Thomson (lord Kelvin).

APPAREILS À AIMANTS FIXES ET À CADRE MOBILE.

Ces appareils dérivent du type Deprez-d'Arsonval ; ils ont pris aujourd'hui une place prépondérante dans les laboratoires et dans les usines, et remplacent de plus en plus les galvanomètres à aimants mobiles dans les mesures les plus délicates. La plupart des constructeurs français et étrangers construisent aujourd'hui des instruments de cette nature, auxquels ils ont apporté des perfectionnements plus ou moins importants tout en leur conservant leur dénomination générique de d'Arsonval.

La maison Carpentier nous montre une série de galvanomètres à cadre mobile : les uns à aiguille et cadran divisé, montés sur socles ou sur planchettes accrochés à un mur avec suspension par fils ou à pivots, les autres à miroir, différentiels ou avec cadres de rechange à résistances variables : un autre type avec suspension unifilaire, le retour du courant se faisant par un contact à mercure. Enfin, deux galvanomètres balistiques d'un modèle plus nouveau, dont l'un est monté sur socle avec vis calantes, et l'autre disposé pour être placé contre un mur. Dans cet appareil, le cadre mobile a une dimension plus grande dans le sens horizontal, afin d'augmenter le moment d'inertie. La résistance de ce cadre est de 500 ohms, et la durée de son oscillation est de 8 secondes. Un courant de 0,01 micro-ampère donne une déviation de 1 millimètre sur l'échelle placée à 1 mètre, et 1 micro-coulomb produit une élongation de 40 milli-

mètres. L'un de ces appareils est muni d'une suspension du type antisecousses du professeur Julius. Celle-ci est constituée par trois fils métalliques dont les extrémités sont fixées d'une part au plafond et, d'autre part, à trois pinces faisant corps avec le galvanomètre lui-même. Les trois points d'attache et le centre de gravité de l'instrument doivent être dans le même plan horizontal. Pour arriver à ce résultat, les pinces sont munies de vis de rappel qui permettent de régler rigoureusement la position. La partie inférieure de l'appareil porte des ailettes plongeant dans une caisse remplie d'huile. Cette disposition supprime les oscillations. On peut, avec cette suspension, faire des lectures très exactes, malgré les trépidations qui peuvent se produire; l'image lumineuse conserve une fixité remarquable.

MM. Chauvin et Arnoux construisent des galvanomètres à cadre mobile apériodiques avec shunts interchangeables. Ces instruments sont en général complétés par une disposition permettant d'enregistrer les mesures constatées. Nous retrouverons ces appareils dans la classe des enregistreurs.

La maison Ducretet expose des galvanomètres du type d'Arsonval, dans lesquels le cadre est mobile dans un champ magnétique très intense, constitué par cinq aimants en fer à cheval parallèles et horizontaux. Le cadre mobile présente une résistance de 225 ohms. Les fils de suspension placés au-dessus et au-dessous du cadre ont même longueur et même diamètre, et donnent des couples de torsion égaux. La lecture se fait soit directement sur le cadran du galvanomètre, au moyen d'une aiguille fixée au cadre, soit au moyen de l'échelle divisée, au moyen du miroir porté par le fil de suspension. Un galvanomètre plus puissant, à six aimants parallèles, figure également dans l'exposition de M. Ducretet. La résistance du cadre est de 350 ohms. La lecture se fait seulement au miroir avec l'échelle divisée; un courant de 1 micro-ampère donne, à 1 mètre, une déviation de 17 mm. 3 de l'image lumineuse.

Un galvanomètre du même type a été disposé comme enregistreur, et est décrit plus loin.

La maison Edelmann, de Munich, construit des galvanomètres à cadre mobile dans lesquels les aimants sont formés de deux séries de sept barreaux droits parallèles et horizontaux, disposés en deux files. Ils sont réunis à une extrémité par une culasse composée de huit plaques de tôle mince, qui viennent s'intercaler entre les barreaux. L'ensemble est maintenu en place par des boulons traversant les barreaux et les tôles. L'équipage mobile, suspendu à un fil, oscille entre les deux groupes d'aimants. La mesure se fait à l'échelle et au miroir.

Un appareil d'un type différent figure également dans le stand de M. Edelmann. L'aimant est constitué par deux longs barreaux cylindriques verticaux, dont les pôles supérieurs pénètrent à frottement dans des trous percés dans une armature en fer, qui forme la culasse. Le cadre mobile, supporté par une suspension filaire fixée à cette culasse, se meut entre des pièces polaires en fer enfilées sur les barreaux à la partie inférieure et maintenues au moyen de vis de pression. L'observation est faite au miroir avec une échelle divisée.

Dans le galvanomètre genre d'Arsonval, exposé par la maison Hartmann et Braun, de Francfort, trois barres d'acier rondes en fer à cheval constituent un très puissant aimant; dans les pièces polaires sont ménagées des cavités, dans lesquelles pénètrent les pôles des aimants. Le cadre mobile, supporté par des fils fins en argent, comporte deux enroulements différents : l'un sert à effectuer les mesures, l'autre fournit un freinage variable dans chaque opération, au moyen de l'adjonction de résistances convenables. L'instrument est placé sous une cloche en verre qui le protège contre les influences extérieures. Ce constructeur présente des galvanomètres dans lesquels la lecture se fait au moyen d'une aiguille sur un cadran divisé, et des appareils dans lesquels la lecture est faite à l'échelle et au miroir

Dans ce dernier cas la cloche en verre, qui recouvre l'instrument, porte une fenêtre plane à la hauteur du miroir. Cette fenêtre est légèrement inclinée, afin d'éviter les réflexions qui troublent souvent les lectures sur les échelles transparentes servant à la mesure des déviations.

Un appareil de ce type est agencé pour servir de galvanomètre balistique à l'aide de poids disposés sur le cadre mobile.

Tous ces instruments sont munis d'un dispositif d'arrêt, qui permet de les transporter.

La maison Siemens et Halske expose des galvanomètres du système Deprez-d'Arsonval, dont la disposition rentre dans celle des appareils précédemment décrits; elle expose, en outre, un galvanomètre dit *universel,* qui se présente sous la forme du galvanomètre astatique connu de ce constructeur, mais dans lequel l'équipage astatique a été remplacé par un cadre mobile. L'instrument, de forme cylindrique, est monté sur un socle circulaire, sur lequel se trouve un commutateur à fiches et des clefs de contact. Le fil calibré d'un pont de Wheastone est enroulé autour du socle, et un curseur, manœuvré par un levier extérieur pivotant autour du centre de l'appareil, se déplace sur ce fil et permet de faire varier les résistances dans le circuit des courants à mesurer. Des résistances de valeurs différentes sont reliées au commutateur à fiches du socle, et les clefs de contact permettent d'obtenir les ouvertures et fermetures de circuit nécessaires. Cet appareil permet de mesurer les résistances comme avec un pont de Wheastone ordinaire. La lecture se fait au moyen d'une aiguille sur un cadran divisé.

La face supérieure du cylindre est formée par une plaque de verre noircie sur laquelle sont gravés schématiquement en blanc les différentes combinaisons à réaliser dans les divers cas où l'on peut effectuer des mesures avec cet appareil.

Dans le galvanomètre à miroir du type d'Arsonval construit par la maison Crompton and C°, de Londres, les aimants, au nombre de quatre sont en forme de croissants et superposés horizontalement à plat. Les pôles sont terminés en pointes de telle sorte que l'espace dans lequel se dégage le flux est très petit. Entre les pôles est placée la bobine qui sert de cadre mobile. Cette bobine a la forme d'un anneau sur lequel sont enroulés les fils, dont les extrémités sont soudées à deux crochets, qui servent à la

suspendre aux deux fils constituant la suspension de l'équipage. Le miroir se trouve à la partie inférieure un peu au-dessus du point où la bobine est reliée aux fils de suspension. Une colonne cylindrique, placée au milieu de l'espace libre laissé par les aimants porte, au moyen d'une console mobile, placée à la partie supérieure, l'extrémité des fils. Ceux-ci sont métalliques et amènent le courant à la bobine ; un dispositif spécial permet de faire varier la longueur et l'écartement de ces fils. L'appareil est porté sur un socle muni de vis calantes, de manière à assurer une verticalité parfaite, nécessaire pour que la bobine ne vienne pas toucher les pôles des aimants. Un globe de verre soustrait l'instrument aux influences extérieures.

Les maisons J. White, d'Angleterre, et Erikson, de Saint-Pétersbourg, présentent des galvanomètres à cadre mobile, dans lesquels il n'y a pas de particularités nouvelles à signaler.

M. Olivetti expose un appareil de ce même type, dans lequel le champ magnétique est constitué par deux forts aimants circulaires, laissant à leur extrémité supérieure un espace libre muni de pièces polaires entre lesquelles se trouve l'équipage mobile. Celui-ci est suspendu par un fil de bronze phosphoreux, qui amène le courant et qui est contenu dans un tube vertical à l'extrémité duquel il est fixé au moyen d'une pince à vis. On peut, d'autre part, immobiliser la bobine pour transporter l'instrument.

La Cambridge Scientific Instrument C° expose des galvanomètres à cadre mobile, types d'Arsonval, qui sont décrits plus loin, l'un dans la classe suivante des appareils enregistreurs, l'autre dans celle des appareils divers (radiomicromètre).

GALVANOMÈTRES DE SYSTÈMES DIFFÉRENTS.

M. Carpentier expose un galvanomètre Deprez, à aimant et bobines fixes et à fer doux mobile. Dans cet appareil, un aimant en fer à cheval crée entre ses deux pôles un champ magnétique puissant, au sein duquel est placée une bobine fixe traversée par un fil vertical qui porte une pièce de fer doux. L'observation se fait au miroir.

La maison Bréguet expose un galvanomètre de M. Lippmann, dit *électromètre-capillaire,* dans lequel le courant traverse un réservoir d'une très faible épaisseur rempli de mercure et placé entre les pôles d'un fort aimant. Deux tubes verticaux partent de ce réservoir. L'un d'eux se termine par un récipient assez large pour que le niveau du mercure reste sensiblement constant sous l'action du courant, le mercure est chassé dans l'autre tube et la hauteur du niveau du mercure donne sur une échelle graduée la mesure de l'intensité.

MM. J. Hartmann et Braun présentent un galvanomètre thermique à miroir. Dans cet appareil, la flexion de deux fils à dilatation, tendus verticalement, est transmise par un fil de cocon à un troisième fil tordu qui porte le miroir. La dilatation des fils actifs sous l'action de la température extérieure est compensée. L'apériodicité s'obtient par freinage magnétique, comme dans les appareils industriels construits par cette maison. Cet instrument est surtout employé pour la mesure des faibles courants alternatifs à

partir de 1 milliampère. On peut faire varier la sensibilité de l'appareil en mettant les fils en série ou en quantité.

GALVANOMÈTRES ENREGISTREURS.

Le galvanomètre enregistreur du type d'Arsonval, exposé par M. Ducretet, a ses aimants en fer à cheval disposés horizontalement au nombre de cinq. Le cadre mobile est suspendu par des fils métalliques qui amènent le courant; il porte à la partie inférieure une aiguille libre horizontale à laquelle est fixée une plume, qui se trouve à une très petite distance d'une feuille de papier enroulée sur un tambour à axe horizontal. Afin que le frottement de l'aiguille sur le papier ne retarde pas le mouvement de l'aiguille, celle-ci ne s'appuie sur le papier que par intermittence, lorsqu'un courant est envoyé au moyen d'un commutateur dans un électro-aimant qui abaisse un levier commandant la plume. L'enregistrement est ainsi obtenu au moyen de points, dont les distances sont d'autant plus faibles que la manœuvre du commutateur a été plus fréquente. On peut ensuite réunir les points par un trait, qui donne la courbe continue des déplacements de l'aiguille.

La Cambridge Scientific Instrument C° présente un galvanomètre enregistreur étudié par M. le professeur Callendar, de l'Université de Londres. Les différents organes constituant cet appareil sont montés sur un panneau vertical et comprennent : à la partie supérieure, un galvanomètre du type Deprez-d'Arsonval pouvant, lors du mouvement de son cadre, donner des contacts électriques; au milieu, un fil calibré formant la résistance variable d'un pont et le long duquel se déplace un curseur mis en mouvement par un chariot spécial portant la plume et inscrivant les courbes sur un tambour à axe horizontal entraîné par un mouvement d'horlogerie; à la partie inférieure, un pont de Wheastone comprenant les deux bornes de la pile, celles des circuits dont on a à mesurer les variations de résistance, ainsi que les clefs de pile et de circuit des relais qui actionnent le chariot. Le déplacement du chariot est produit par deux mouvements d'horlogerie, dans lesquels les échappements des rouages sont commandés par les armatures d'électro-aimants formant relais et disposés de telle sorte que le rouage défile quand l'armature est attirée et s'arrête quand le courant est interrompu. Le déplacement du chariot et du curseur mobile, le long du fil calibré, se produit au moyen d'engrenages différentiels et d'un tambour sur lequel s'enroule une cordelette. Il résulte de cette disposition que, lorsqu'un des relais attire son armature, la plume se déplace du côté de ce relais, et que lorsque l'autre relais est excité par un courant, la plume se déplace de l'autre côté. Lorsqu'il n'y a pas de courant, le chariot reste immobile. Une disposition particulière a été appliquée pour l'émission des courants, par le mouvement du cadre du galvanomètre, tantôt dans un relais, tantôt dans l'autre. Le cadre porte une aiguille, le long de laquelle sont fixés deux fils isolés, reliés d'un côté aux relais, au moyen de fils très souples, et se terminant à l'extrémité par deux contacts en platine, entre lesquels est un disque en ébonite, dont les faces

sont garnies de platine. Un mouvement d'horlogerie anime ce disque d'un mouvement de rotation lent et continu, et des ressorts qui l'embrassent des deux côtés entretiennent la netteté des surfaces métalliques. Une déviation du cadre galvanométrique, dans un sens ou dans l'autre, amène l'un ou l'autre des contacts en platine en contact avec la partie métallique du disque, fermant ainsi le circuit du relais correspondant. Quant le contact se rompt par suite du retour au zéro du galvanomètre, aucun des contacts ne touche le disque, mais le circuit des relais n'est pas coupé; pour éviter toute étincelle d'extra-courant, une grande résistance sans self-induction s'intercale automatiquement dans le circuit. Cet appareil a été utilisé pour enregistrer les variations de température d'un four à métaux. Ces variations s'observent par celles de la résistance de la bobine qu'on intercale entre les bornes du pont de Wheastone. Pour les basses températures, on peut apprécier un millième de degré. Au point de fusion du platine, on obtient une approximation d'un demi-degré.

APPAREILS SANS AIMANT. — ÉLECTRO-DYNAMOMÈTRES.

Les galvanomètres, dans lesquels l'aimant est remplacé par une bobine de dimensions appropriées, traversée par le courant, sont dénommés *électro-dynamomètres*. Ces appareils peuvent être employés pour le courant continu et pour le courant alternatif.

L'électro-dynamomètre étudié par M. Pellat, et construit par la maison Carpentier est connu sous le nom d'*ampère-étalon*. Il se compose d'une grande bobine cylindrique fixe, à axe horizontal, dans laquelle est placée une bobine à axe vertical, dont le centre est muni d'un couteau d'agate reposant sur un plan de même matière. Cette bobine verticale forme la partie centrale d'un fléau de balance. Deux spirales en fil d'argent très fin établissent une communication électrique avec le fil de la bobine mobile, qui est montée en série avec la bobine fixe. Sous l'influence des courants traversant ces bobines, le fléau prend une certaine inclinaison. En plaçant ou retranchant des poids dans le plateau suspendu à l'extrémité du fléau, on rétablit l'équilibre horizontal. L'observation de cette position d'équilibre se fait en pointant l'index du fléau avec un microscope. Cet appareil est construit pour des mesures de 0,2 à 0,5 ampère. On peut mesurer toute autre intensité au moyen de shunts convenablement choisis. On se sert, pour étalonner cet instrument, de l'ampère étalon absolu de M. Pellat.

Le même constructeur présente un électro-dynamomètre à torsion, dans lequel le cadre mobile est fait en fil fin et placé en dérivation sur le cadre fixe. Le courant, dans le circuit mobile, n'est qu'une faible fraction du courant total, et il est amené au cadre par les fils fins ou le ressort qui le suspendent. Le mesure se fait par la torsion du ressort supérieur.

M. Ducretet expose un électro-dynamomètre Weber, qui se compose d'une bobine fixe, dont la section est rectangulaire et la projection perpendiculaire à l'axe une couronne elliptique. La bobine mobile cylindrique est enroulée sur un noyau d'ivoire;

elle est portée par un étrier muni d'un miroir et suspendu par deux fils d'argent, dont l'écartement peut être réglé au moyen de vis. Les fils servent, par l'intermédiaire de contacts à mercure, à l'amenée et à la sortie du courant. Cet appareil a une grande durée d'oscillation et un très faible amortissement, ce qui rend difficile l'observation d'équilibre.

L'électro-dynamomètre de la maison Hartmann et Braun présente une disposition différente des appareils de ce genre. Il est constitué par une bobine fixe cylindrique et plate, dont l'axe est incliné sur la verticale, et par deux bobines mobiles fixées aux extrémités d'un bras horizontal et placées à l'intérieur de la première. L'ensemble des deux bobines et du bras peut tourner autour d'un axe vertical passant par le centre de gravité. Les bobines mobiles reçoivent le courant par un ressort en métal non magnétique et le fil de suspension. Celui-ci se termine par une palette d'aluminium qui tourne dans une boîte cylindrique, ce qui assure l'amortissement. Les bobines mobiles sont disposées de manière à constituer un système astatique, et sont placées en dérivation sur la bobine fixe. L'observation se fait au moyen d'une aiguille sur un cadran divisé.

MM. Siemens et Halske ont été les premiers à construire des électro-dynamomètres pour mesurer les intensités. Le système comporte un cadre fixe double, un des circuits étant formé de gros fil pour la mesure des courants intenses, l'autre comprenant un plus grand nombre de spires en fil fin pour les courants plus faibles. La maison Siemens expose un certain nombre de types de ces appareils, dont l'un à deux bobines fixes placées l'une au-dessous de l'autre, et qui peut être employé pour la mesure des tensions de courants continus et alternatifs. La lecture se fait au moyen d'une aiguille mobile sur un cadre divisé.

La maison Ganz, de Budapest, expose un électro-dynamomètre de torsion pour 50 et 200 ampères, au moyen duquel on peut mesurer l'intensité des courants continus et alternatifs de toute fréquence. Il consiste en deux systèmes de bobines, dont les plans sont disposés sous un angle droit : l'un des systèmes est fixe, l'autre est suspendu par un fil de soie sans torsion, et, sous l'influence du premier, il peut tourner autour d'un axe vertical. Le courant traversant les deux bobines en série produit un moment proportionnel au carré de l'intensité de ce courant. On ramène la bobine mobile au zéro, au moyen d'un ressort en spirale que l'on actionne à l'aide d'un bouton muni d'un index. Dans ces conditions, le courant correspondant à la déviation indiquée est égal à une constante près à la racine carrée de la déviation. On peut, au moyen de fiches, opérer le changement du système de bobine fixe, sans interrompre le courant. Une cage en verre recouvre l'appareil et le protège contre les poussières et les mouvements de l'air extérieur.

La même maison expose un appareil du même genre pour 10 et 30 ampères. Il n'y a de différence que dans le nombre et la section des spires des bobines.

M. White présente une série de balances électro-dynamiques étudiées par lord Kelvin. Ces appareils sont connus, nous rappellerons brièvement leur principe. Deux bobines plates à axes verticaux sont fixées chacune à une extrémité d'un fléau de balance

IMPRIMERIE NATIONALE

et sont placées chacune entre deux bobines fixes de même forme. Ces bobines sont toutes parcourues par le même courant et les enroulements sont disposés de telle sorte que le couple électro-dynamique tend à faire osciller le fléau toujours dans le même sens; on équilibre ce couple au moyen d'un contrepoids à curseur mobile le long d'une règle divisée portée par le fléau. La position du curseur donne la valeur du courant mesuré. L'action du champ terrestre est détruite par la précaution prise d'envoyer dans les bobines mobiles le courant dans le même sens. Le mouvement du chariot curseur est fait au moyen de cordelettes qui sortent de la boîte, et qui permettent d'amener l'index dans la position voulue, sans troubler l'opération.

Cinq types de ces instruments figurent dans le stand de la maison White et comprennent des balances centiampère, déciampère, décaampère, hectoampère et kiloampère permettant de mesurer les intensités comprises entre 0.01 et 2.500 ampères.

Parmi les appareils exposés par M. le Professeur Riccardo Arno figure un électrodynamomètre composé de deux cadres traversés par un même axe vertical. L'un de ces cadres est fixe et l'autre mobile. Ces cadres reçoivent des enroulements dans lesquels est envoyé le courant. L'axe est muni à la partie supérieure d'une molette à index qui se meut sur un cadran divisé, et qui permet d'opérer la lecture en ramenant au zéro le cadre mobile de l'instrument.

APPAREILS ACCESSOIRES DES INSTRUMENTS DE MESURE.

Les instruments qui viennent d'être décrits, et spécialement les galvanomètres, sont accompagnés de dispositifs spéciaux destinés à permettre la lecture facile et exacte des mesures dans les laboratoires. Les constructeurs ont, par suite, apporté un soin tout particulier dans l'établissement des accessoires divers qui entrent dans la construction des appareils et qui consistent en clefs, commutateurs, inverseurs, échelles opaques ou translucides, lunettes et supports de lunettes. En France, on donne plutôt la préférence à la méthode objective dans les observations, et l'on emploie en général les échelles translucides, en raison de la plus grande facilité que présentent les lectures; en Allemagne, on semble préférer la méthode subjective, dans laquelle on emploie les échelles opaques.

M. Edelmann fait usage d'une échelle translucide, cintrée par une compression exercée sur ses extrémités, dans laquelle la proportionnalité est conservée pour les grandes variations.

La maison Carpentier expose des échelles translucides, des lunettes, des lanternes pour l'éclairage des échelles, des clefs de court circuit et à deux contacts successifs, des commutateurs à trois et à quatre quadrants et des commutateurs inverseurs à mercure. Tous ces appareils sont montés sur ébonite et parfaitement isolés.

M. Ducretet emploie un isolant spécial, *la pescite*, composé d'un mélange de cire, de gomme laque et de craie, qui résiste bien aux décharges à haute tension.

Une disposition nouvelle a été appliquée en Allemagne aux supports de lunette.

Nous trouvons dans le stand de la maison Hartmann et Braun deux types de ces supports.

Le premier se fixe à un mur et peut recevoir toutes les orientations. Il est muni d'une potence métallique qui supporte la lunette et qui peut coulisser le long d'un tube fixé contre le mur. Cette potence peut tourner de 180 degrés autour de son support. A son extrémité sont placées les lunettes et l'échelle qui porte un support formant pivot. Une prise de courant avec fils souples amène le courant à une lampe à incandescence tubulaire à réflecteur qui éclaire l'échelle.

Le deuxième modèle est suspendu au plafond sur des poutres de roulement. Le support, qui porte un tube auquel est articulée la lunette munie de son échelle, est garni à sa partie supérieure de galets qui, roulant sur les poutres, permettent le déplacement transversal du système. Au moyen de vis micrométriques, on peut donner à l'appareil, qui a été déplacé d'abord à la main, la position rigoureusement nécessaire. Quant à la lunette, elle est disposée pour être mobile dans tous les sens.

La même maison expose également une suspension Julius, analogue à celle qui a été décrite précédemment au sujet du galvanomètre balistique de M. Carpentier. Mais alors que M. Carpentier suspend au moyen de trois fils l'instrument lui-même, MM. Hartmann et Braun suspendent un support sur lequel on vient placer l'instrument.

La maison Siemens et Halske présente une disposition un peu différente. Une planchette verticale, fixée à un mur, supporte une console sur laquelle se place le galvanomètre. L'échelle est disposée à la hauteur des yeux au-dessous de l'instrument et au-dessus de la caisse qui contient la lampe servant à l'éclairage de l'échelle. Un système de prismes et de miroirs envoie la lumière sur le miroir du galvanomètre, qui la réfléchit sur l'échelle à laquelle on peut donner l'inclinaison voulue.

Les maisons J. White, Crompton and C°, Olivetti, présentent des échelles opaques et translucides sur des supports spéciaux pour l'évaluation des mesures galvanométriques.

Les échelles peuvent être portées par l'instrument lui-même et nous en trouvons des exemples dans les appareils exposés par MM. Chauvin et Arnoux, Hartmann et Braun, Siemens et Halske et J. White.

Les appareils qui viennent d'être décrits sont employés dans les laboratoires soit pour faire des mesures précises, soit pour graduer les instruments industriels dénommés *ampèremètres*. Comme ces derniers appareils ne diffèrent des voltmètres que par la résistance de leurs bobines, leur construction étant d'ailleurs identique, nous grouperons dans la même description ces deux types d'instruments au chapitre de la mesure des tensions.

C. F. E.

II. — MESURE DES TENSIONS.

ÉLECTROMÈTRES.

Ces appareils sont basés sur les actions électrostatiques; ils indiquent les différences de potentiel entre plusieurs points d'un conducteur. Ces instruments ne supportent que des charges et donnent des variations proportionnelles aux carrés des différences de potentiel, le couple résistant étant proportionnel à la déviation. On les emploie aujourd'hui dans l'industrie pour la mesure des hautes tensions.

La maison J. Carpentier expose un électromètre Thomson à quadrants modifié par M. Mascart et destiné aux laboratoires, un électromètre à feuilles d'or de M. Benoist construit spécialement pour l'étude des rayons X par la décharge des corps électrisés. Il donne des déviations d'une grande amplitude et proportionnelles aux potentiels. Elle présente, en outre, une jauge et un replenisher de Thomson, ainsi qu'un électromètre apériodique à miroir étudié par M. Carpentier. Dans cet appareil, les quadrants plans et l'aiguille sont remplacés par des surfaces cylindriques, et un aimant analogue à celui des galvanomètres d'Arsonval a été ajouté au type primitif en vue de rendre l'appareil apériodique. Le noyau de fer doux est divisé en quatre secteurs, et une enveloppe extérieure en laiton, également divisée, forme avec les secteurs du noyau les deux paires de quadrants. Le cadre mobile est supendus entre deux fils métalliques tendus en prolongement l'un de l'autre. L'appareil est ainsi bien amorti et d'un usage pratique.

Le voltmètre électrostatique Carpentier, établi pour des tensions de 800 à 3,000 volts, est basé sur le même principe que l'électromètre à miroir. Le cadre mobile autour d'un axe horizontal est porté par des pointes en iridium dans des chapes en forme de V. Un index vertical fixé sur l'axe permet la lecture sur un cadran divisé en volts. L'amortissement est produit par des courants induits dans le cadre. La force antagoniste est due à l'action d'un contrepoids fixé sur le cadre. L'appareil est apériodique. Il est renfermé dans une boîte rectangulaire.

Dans le stand de la maison Ducretet, figurent divers appareils de cette nature. Un électromètre Thomson modèle de M. Mascart avec cuve de M. Gouy à deux compartiments concentriques, l'un contenant de l'huile pour assurer l'amortissement, l'autre contenant de l'acide sulfurique pour enlever l'humidité.

Un électromètre absolu de MM. Bichat et Blondlot, dont le principe est basé sur l'attraction de deux cylindres concentriques : le cylindre extérieur est fixe et le cylindre intérieur, supporté par l'extrémité d'un fléau de balance, est équilibré au moyen d'un contrepoids. A la partie inférieure du cylindre mobile est fixée une bride à laquelle est accroché un plateau. La bride porte en outre à sa partie inférieure un cylindre creux renfermé dans un récipient également cylindrique, et qui remplit le rôle d'amortisseur

à air. Le courant est amené au cylindre extérieur, et sous l'influence d'une charge électrique le cylindre intérieur est aspiré dans le premier. L'aiguille, fixée sur l'axe de rotation de la balance est ramenée au zéro au moyen de poids placés dans le plateau. La tension est mesurée par la valeur de ces poids. On peut, avec cet appareil, mesurer des potentiels très élevés, mais il faut éviter la production d'étincelles entre les deux cylindres, car les résultats seraient faussés.

Le même constructeur expose un électromètre astatique de MM. Blondlot et Curie qui se compose d'une aiguille circulaire constituée par un disque très mince en ébonite dont la surface totale est argentée; des réserves isolantes sont pratiquées de manière que la partie métallique sur les deux faces divise la surface en quatre secteurs suivant deux diamètres à angle droit. Les secteurs opposés par le sommet sont électriquement solidaires. Les quadrants ou secteurs fixes sont également en ébonite argentée avec réserves les divisant en quatre secteurs. L'aiguille suspendue par deux fils métalliques dans le prolongement l'un de l'autre, est placée entre les surfaces des quadrants de telle sorte qu'au repos la ligne de séparation des quadrants est perpendiculaire à celle de l'aiguille. Les fils métalliques permettent d'établir les communications électriques nécessaires pour chacune des paires de secteurs; ils servent également à produire le couple de torsion. L'appareil est muni d'un amortisseur à air consistant en une palette d'aluminium tournant dans un cylindre. Dans un autre modèle, les secteurs fixes sont en acier aimanté, ce qui assure l'amortissement.

Cet instrument peut être employé comme wattmètre électrostatique en reliant les demi-cercles fixes aux bornes du circuit à mesurer et les demi-cercles mobiles à celles d'un shunt traversé par le courant principal. Les lectures sont faites au miroir.

MM. Chauvin et Arnoux sont arrivés dans leur électromètre à rendre les déviations sensiblement proportionnelles aux tensions en recourbant les armatures fixes employées au lieu des quadrants. Pour mettre l'appareil à l'abri des décharges électrostatiques, l'une des bornes est reliée au secteur mobile par une résistance très élevée, qui est produite par un simple trait au crayon sur une plaque de verre dépoli.

La maison J. White expose des électromètres ou voltmètres électrostatiques de lord Kelvin du type dit *multicellulaire* qui permet de mesurer des tensions continues ou alternatives depuis 30 volts. L'équipage mobile de cet appareil est composé de quatorze aiguilles d'électromètre en forme de *huit* (8) réunies sur une tige verticale suspendue par un fil métallique très fin. Ces aiguilles pénètrent entre des secteurs fixes en laiton formant autant de cellules qu'il y a d'aiguilles. L'amortissement est obtenu par le frottement dans de l'huile d'un disque porté par un anneau à la partie inférieure du tube. Les secteurs étant reliés à un pôle et l'équipage à l'autre pôle d'une machine ou à deux points d'un circuit parcouru par un courant, l'attraction qui s'exerce entre les deux parties détermine une déviation de l'index porté par l'axe, et la lecture sur un cadran divisé donne la mesure en volts.

M. White expose également un autre modèle de cet appareil dans lequel la partie mobile est suspendue sur des couteaux et peut être immobilisée à volonté. L'encom-

brement est ainsi très réduit et l'instrument peut être placé dans un boîtier circulaire, de manière à être employé dans un tableau de distribution.

La maison Crompton présente des appareils analogues à ceux du dernier type.

Dans l'électromètre Hallwachs, construit par la maison Stieberitz, l'aiguille est suspendue par un fil de platine d'un diamètre extrêmement faible et préparé pour conserver un coefficient d'élasticité constant. Un amortisseur à air rend apériodiques les oscillations de l'aiguille. Celle-ci se meut entre deux paires de quadrants fixes. On obtient, avec cet appareil, par la méthode idiostatique une déviation de 10 millimètres par volt sur une échelle placée à 2 mètres du miroir et par la méthode hétérostatique une déviation de 150 millimètres par volt.

MM. Hartmann et Braun exposent un électromètre multicellulaire du genre de l'appareil Kelvin, dans lequel la suspension à fil est logée à l'intérieur du petit tube qui réunit les aiguilles, de manière à supprimer la colonne extérieure et à loger l'instrument dans une boîte ronde.

L'amortisseur est en outre constitué par un disque en aluminium tournant entre les pôles d'un aimant.

La même maison présente un autre modèle d'électromètre ou voltmètre électrostatique pour hauts voltages, dans lequel une palette fixe verticale attire une palette mobile suspendue à sa partie supérieure à un pivot. La force antagoniste employée est la pesanteur. Le mouvement de la palette est très faible, et, pour l'amplifier, un fil fixé à la partie inférieure agit sur une poulie portant l'index. L'amortissement s'obtient comme dans l'appareil précédent.

Enfin, nous citerons ici, à titre d'appareil de laboratoire, un voltmètre thermique à miroir, exposé par la maison Hartmann et Braun et qui se compose de deux fils fins tendus verticalement et portés par une potence métallique. Le courant circule dans les fils et les échauffe. Un autre fil fin, isolant, attaché au milieu des deux autres, est tendu lui-même par un quatrième fil qui est attaché en son milieu et dont l'extrémité s'enroule sur la poulie d'un axe portant le miroir. L'axe est suspendu entre deux fils de torsion. Au moyen d'un bouton moleté placé à la partie supérieure, on donne une torsion au fil de suspension, ce qui fait tourner l'axe et enroule le quatrième fil sur la poulie; celui-ci tire alors sur le fil horizontal reliant les deux fils verticaux, lui donne une flèche plus forte et oblige les fils actifs à fléchir de leur côté. Le système prend alors une position déterminée d'équilibre. Quand ensuite le courant traverse l'appareil, les fils verticaux se dilatent, cèdent à la traction exercée par le fil horizontal et le mouvement se transmet à l'axe, qui tourne sollicité par la torsion du fil supérieur. On peut avec cet instrument observer un déplacement du spot pour 1 milliampère, l'échelle étant placée à 1 mètre du miroir.

La maison Siemens et Halske construit également des voltmètres électrostatiques à quadrants dérivés du système Kelvin.

L'Allgemeine elektricitäts Gesellschaft (A. E. G.) présente différents modèles d'électromètres dans lesquels une aiguille dissymétrique est attirée par deux secteurs fixes;

la force antagoniste s'opposant à ce mouvement est un contrepoids. Pour obtenir l'amortissement des oscillations, un petit aimant exerce son action sur l'aiguille. Des lames de micanite sont collées sur les faces internes des secteurs fixes de manière à les déborder légèrement. On évite ainsi les détériorations que pourraient produire les étincelles. Mais on ne peut se servir de l'instrument pour les courants continus, à cause de la polarisation du diélectrique.

La maison Ganz expose un électromètre à quadrants (d'après Thomson) à mouvement amorti. L'aiguille d'aluminium suspendue à un fil de platine est actionnée par quatre quadrants en laiton placés au-dessus de l'aiguille. L'amortisseur est constitué par un cadre en cuivre qui se meut dans un champ magnétique intense. Les déviations s'observent au moyen d'un miroir concave. On obtient avec cet appareil une déviation de 150 millimètres sur une échelle située à 1 mètre pour une tension de 820 volts.

Le voltmètre électrostatique du professeur Riccardo Arno, étudié spécialement pour les courants polyphasés, est basé sur le phénomène de la polarisation des diélectriques. Ce savant a montré le premier que, sous l'influence d'un champ magnétique variable sur les diélectriques, il se produisait un retard d'électrisation, par suite de la polarisation de ces diélectriques. M. Riccardo Arno démontre cette propriété à l'Exposition au moyen d'un appareil spécial composé d'un plateau en ébonite sur lequel sont collés trois secteurs en papier d'étain, correspondant chacun à un angle de 120 degrés environ, entre lesquels se trouvent trois bandes rayonnantes qui les isolent l'un de l'autre. Au centre du plateau est une tige servant de pivot à un disque de mica, placé à quelques millimètres seulement du plateau, et muni en son centre d'une chape analogue à celle des aiguilles de boussole. Les secteurs portent chacun une borne d'amenée de courant. En mettant les trois bornes en communication avec les trois fils d'une distribution triphasée à haute tension, le disque de mica se met à tourner et prend peu à peu la vitesse du synchronisme. L'inversion de deux quelconques des fils provoque la rotation en sens inverse du disque, qui suit le sens du champ.

Le voltmètre électrostatique dérive de cette expérience. L'appareil se compose de trois segments de cylindre en métal reliés au moyen de bornes à une distribution de courant triphasé. Au centre de figure de ces segments est un cylindre en papier paraffiné, dont la base supérieure est percée de trous pour diminuer son poids, et qui peut tourner autour de son axe. Une aiguille se déplace devant une graduation tracée empiriquement. Le champ tournant exerce sur le cylindre un couple proportionnel à la tension, et un ressort spiral fixé au cylindre d'une part et à l'axe de l'autre fournit le couple résistant.

APPAREILS INDUSTRIELS. — AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES.

Les appareils employés dans l'industrie il y a une dizaine d'années étaient de types peu variés. Nous en trouvons aujourd'hui un grand nombre destinés à l'emploi des courants continus ou alternatifs. Ces instruments, qui, autrefois, avaient des dimen-

sions restreintes de 0 cent. 15 à 0 cent. 20 de diamètre ont, dans la construction actuelle, des diamètres allant jusqu'à 0 m. 30 et 0 m. 50. Les installations électriques étant devenues beaucoup plus importantes, on a tenu à mettre sous les yeux du personnel chargé de la conduite des machines, des indications très visibles et très nettes. Certains constructeurs ont été ainsi amenés à placer des cadrans transparents éclairés par des lampes électriques placées par derrière de manière à conserver, la nuit, une visibilité parfaite. C'est principalement en Allemagne et en Angleterre que cette manière de faire s'est le plus répandue.

AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES ÉLECTROMAGNÉTIQUES.

Ces appareils sont basés sur les actions attractives et répulsives de petites pièces de fer doux de formes variées aimantées par les bobines que traverse le courant à mesurer. Les plus anciens des instruments de ce genre sont les ampèremètres et les voltmètres Javaux construits par la société Gramme, dans lesquels la bobine contient une pièce de fer doux fixe et une autre mobile excentrée par rapport aux pivots. La force antagoniste étant produite par la pesanteur, il est nécessaire que l'instrument soit placé bien verticalement.

La maison Carpentier expose des appareils du même genre convenant très bien pour les courants alternatifs de fréquence inférieure à 50 périodes par seconde.

MM. Chauvin et Arnoux construisent des instruments dans lesquels le dispositif magnétique est constitué par une sorte de volet en tôle de fer très mince et par un volet fixe en tôle de même épaisseur et terminé par une volute. Sous l'action du flux de force magnétique créé par le courant traversant le circuit du solénoïde inducteur dans lequel est placé le système, la pièce fixe exerce sur le volet mobile une action répulsive qui est équilibrée par la force d'un ressort spiral. L'équipage est monté sur crapaudines en pierres fines.

Les ampèremètres et voltmètres de la maison Daydé et Pillé sont construits avec bobine magnétisante fixe et fer doux mobile. Les ampèremètres peuvent être employés jusqu'à 4,000 ampères; les voltmètres sont munis de petits transformateurs réducteurs lorsque la tension du courant à mesurer dépasse 1,500 volts.

Les instruments de ce genre construits par M. Fabius Henrion sont basés sur l'action directe d'un solénoïde sur une feuille de tôle extrêmement mince. La quantité de fil dans le voltmètre est assez grande pour que l'appareil puisse rester constamment dans le circuit.

Dans les appareils de M. J. Richard un électro-aimant à deux bobines agit sur une double palette de fer doux montée sur un axe parallèle à celui des bobines. La palette présente une surface gauche, de manière qu'elle peut tourner sous l'influence du magnétisme des noyaux. Dans les voltmètres le fil est en maillechort de section suffisante pour que l'échauffement et l'augmentation de résistance qui en résulte soient négligeables.

MM. Siemens et Halske exposent des appareils électromagnétiques se composant simplement d'une came en fer doux fixée à un axe de rotation horizontal et placée au-dessus d'un solénoïde vertical, dans lequel passe le courant. Sous l'influence de celui-ci, la came pénètre dans le solénoïde et produit dans ce mouvement la rotation de l'axe et le déplacement de l'aiguille fixée sur cet axe. C'est la pesanteur qui produit la force antagoniste. Afin d'assurer l'amortissement, l'axe est muni d'une tige courbée à laquelle est fixé un petit disque, qui se meut dans un tore creux sans frottement.

Les appareils exposés par le Dr Horn se composent d'un solénoïde à axe vertical dans l'intérieur duquel passent deux tiges parallèles à l'axe du solénoïde et reliées à la partie supérieure à des bras de leviers articulés de manière à constituer une sorte de balance. Sur chacune de ces tiges est fixé un anneau en tôle; les deux anneaux sont placés, l'un à la partie supérieure du solénoïde, l'autre à la partie inférieure. Sous l'influence du courant, les anneaux pénètrent dans le solénoïde d'une quantité d'autant plus grande que le courant est plus énergique. Lorsque le courant cesse, les anneaux s'éloignent l'un de l'autre. Le couple résistant est produit par l'anneau inférieur dont le poids est plus grand que celui de l'anneau supérieur. Les tiges de suspension de ces anneaux sont articulées à leur partie inférieure à deux petites bielles pivotant autour de deux points fixes. Elles transmettent ainsi le mouvement à l'aiguille. Dans les appareils exposés il y a deux échelles : l'une noire pour le courant continu, l'autre rouge pour le courant alternatif.

MM. Hartmann et Braun exposent des ampèremètres et des voltmètres électromagnétiques basés également sur l'attraction d'un noyau de fer dans un solénoïde. Le couple résistant est fourni par un ressort à torsion. Le mouvement rectiligne produit par l'aspiration du noyau dans le solénoïde est transformé en un mouvement circulaire au moyen d'un levier et d'un axe pivotant sur pierre dure. La forme du noyau est calculée pour que les divisions soient proportionnelles à l'intensité du courant. Un amortisseur à air assure l'apériodicité. Dans les voltmètres de grand modèle, une aiguille rouge terminée par un cercle laissant apparaître la graduation permet de fixer la tension normale.

Les appareils électromagnétiques exposés par l'*Allgemeine-Elektricitäts-Gesellschaft* sont construits d'après les mêmes principes.

En Angleterre la maison J. White présente l'ampèremètre de lord Kelvin, dit *Ampère Jauge*, dont le modèle est déjà ancien, mais qui a été perfectionné par l'addition d'un amortisseur assurant son apériodicité. Ces instruments peuvent être employés pour les courants continus ou alternatifs. Ils sont contenus soit dans une boîte rectangulaire soit dans une boîte ronde recouverte d'une glace. Dans d'autres modèles, la graduation est faite sur la tranche de la boîte cylindrique de manière que l'instrument tienne le minimum de place sur les tableaux de distribution.

AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES À AIMANT ET BOBINE FIXES ET FER DOUX MOBILE.

Le type de ces appareils est le voltmètre Deprez-Carpentier dans lequel deux forts aimants en fer à cheval polarisent une palette de fer doux, placée au centre d'une bobine qui reçoit le courant à mesurer. Sous l'action du courant, la bobine agit sur la palette et la fait dévier en entraînant avec elle l'index dont la position sur un cadran divisé donne la mesure aux bornes de l'instrument. La maison Carpentier expose des ampèremètres de ce genre, gradués depuis 1 jusqu'à 600 ampères, et des voltmètres depuis 3 jusqu'à 500 volts.

M. J. Richard expose des ampèremètres et des voltmètres portatifs basés sur le même principe et gradués de 0 à 3 ou de 0 à 5 volts. Ce qui caractérise ce modèle est l'emploi d'un aimant permanent très puissant avec armature en fer reliant les pôles. Ces appareils sont destinés à mesurer les différences de potentiel des accumulateurs, et les courants de 0 à 30 ou de 0 à 50 milliampères tels qu'ils sont utilisés en électrothérapie.

Dans les appareils du docteur Horn l'aimant en fer à cheval est vertical; l'une des branches est plus longue que l'autre et se recourbe à son extrémité vers l'intérieur de manière à obliquer la direction du flux agissant sur la palette de fer doux. Celle-ci est placée au centre d'une bobine, qui reçoit le courant à mesurer. Un shunt magnétique arme partiellement l'aimant; on peut faire varier son action au moyen d'une vis commandant les deux plaques de métal constituant ce shunt.

La maison Bréguet construit des appareils dans lesquels la palette de fer doux montée sur un axe et munie d'un ressort spécial est soumise à l'influence d'un électro-aimant en fer à cheval. Les bobines de l'électro sont en dérivation sur le courant à mesurer, et le flux qu'elles développent dans l'entrefer est à peu près proportionnel à la tension du courant. Il est bon, avant chaque mesure, d'interrompre le courant pendant quelques instants, afin d'éviter les effets de l'hystérésis.

AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES À AIMANT FIXE ET À CADRE MOBILE.

La vogue des appareils que nous venons de décrire, qui a été très grande au début, diminue actuellement de jour en jour, depuis que la maison Weston est arrivée à monter sur pivots, tournant dans des crapaudines en pierres fines, le cadre mobile du galvanomètre Deprez-d'Arsonval et a rendu ainsi pratique industriellement l'emploi de ces appareils de premier ordre. Aussi aujourd'hui, la plupart des constructeurs, tant en France qu'à l'étranger, construisent-ils ces appareils à cadre mobile destinés à être employés dans les tableaux de distribution.

La maison Carpentier expose des ampèremètres de ce système à divisions égales sen-

sibles avec une différence de potentiel de 0,05 volt environ, et des voltmètres, dont certains modèles ont jusqu'à 0 m. 50. Certains appareils ont des divisions égales avec faux zéro; les ressorts ont une tension initiale telle que ces instruments ne commencent à dévier que lorsque le voltage mesuré atteint les deux tiers du voltage maximum. La portion utile de l'échelle prend ainsi une plus grande importance relative. Dans d'autres appareils les divisions sont inégales; le cadre mobile se meut dans un champ non uniforme, il en résulte que la sensibilité varie pour chacune des positions. La graduation est faite de telle sorte que les plus grandes divisions correspondent au voltage moyen à mesurer. Le zéro de l'échelle est visible, ce qui permet de vérifier que les ressorts n'ont pas subi de déformation. Nous retrouverons cette disposition dans un certain nombre d'appareils de ce genre, principalement en Allemagne.

Dans les instruments de MM. Chauvin et Arnoux, le cadre mobile est circulaire et entouré de deux bagues en cuivre électrolytique, qui assurent l'amortissement des oscillations de l'aiguille quelle que soit la résistance du circuit extérieur; une bille d'acier remplace le cylindre de fer doux, et les pôles de l'aimant sont creusés suivant une sphère concentrique à la bille et au cadre. Cette disposition, qui diminue légèrement l'intensité du champ, facilite la construction de l'appareil.

La maison Gaiffe expose des appareils de précision étudiés par M. Abdank-Abakanowicz pour le laboratoire Volta. Dans ces appareils à aimant fixe et à cadre mobile (genre d'*Arsonval-Weston*), le cadre peut être enlevé facilement sans qu'il soit nécessaire de démonter le noyau de fer doux placé au milieu des pièces polaires. A cet effet, le cadre est enroulé et collé à la gomme laque sur une cloche cylindrique en aluminium, à laquelle est rivé l'axe pivoté dans des crapaudines en pierres fines. Les fils descendent verticalement suivant deux génératrices diamétrales et se recourbent à la partie inférieure en suivant la courbure de la cloche; celle-ci peut dans ces conditions recouvrir le cylindre de fer doux sans qu'on ait à s'occuper du cadre.

La même maison présente des appareils de précision à aimant invariable construits pour le laboratoire Volta sur les données de M. Abdank, dans lesquels celui-ci a cherché à supprimer la légère perte de magnétisme subie par l'aimant permanent lors du passage du courant dans le cadre mobile. Cet inconvénient est à peu près nul dans les voltmètres; il peut avoir une certaine importance dans les ampèremètres qui se trouvent sur des circuits subissant des variations de charge fréquentes et importantes. Dans l'ampèremètre exposé, l'aimant en forme de fer à cheval a ses deux branches verticales repliées suivant deux courbes concentriques laissant entre elles un entrefer de 2 millim. 5 environ, dans lequel se meut l'un des côtés du cadre. Le centre d'oscillation de celui-ci est le centre de courbure des branches repliées de l'aimant. Un seul côté du cadre se déplace dans l'entrefer, et l'on obtient ainsi un couple déviant réduit de moitié; mais la réaction du cadre mobile tend à maintenir la constance de l'aimantation de l'aimant. Le noyau de fer doux n'existe pas dans cet appareil.

La maison Hartmann et Braun expose des ampèremètres et des voltmètres à cadre mobile destinés à être placés sur des tableaux de distribution. Ces instruments sont

renfermés dans des boîtes en fonte émaillées et nickelées. Le cadran ne laisse apercevoir que la graduation et l'extrémité de l'aiguille qui, ayant une forme en fer de lance, se voit très nettement, même de loin. Les appareils à cadran plat n'étant pas toujours d'une lecture facile lorsqu'ils sont placés un peu haut, la maison Hartmann et Braun renferme l'instrument dans une boîte de forme triangulaire, l'axe de la partie mobile étant voisin d'un des sommets et perpendiculaire au plan de la boîte. La base du triangle, opposée à la partie mobile, porte un cadran cylindrique avec graduation devant lequel vient se mouvoir l'extrémité recourbée de l'index. La boîte peut d'ailleurs tourner autour d'un axe, ce qui permet de donner au cadran divisé toute inclinaison désirable pour que les indications soient très nettement visibles. Cet appareil tient peu de place en largeur, ce qui permet d'en multiplier le nombre sans difficulté sur les tableaux.

MM. Hartmann et Braun ont étudié et exposé un petit appareil (voltmètre) à cadre mobile pour la vérification rapide des accumulateurs. Sa dimension est celle d'une grosse montre, et il renferme tous les organes des galvanomètres à cadre mobile du genre d'*Arsonval-Weston*. La résistance est d'environ 30 ohms par volt. La prise de courant se fait soit directement sur un pointeau triangulaire fixé à l'instrument, soit au moyen d'un conducteur fixé à un serre-fil et terminé par un pointeau lorsqu'il est difficile de mettre l'appareil lui-même en contact avec la source de courant à mesurer.

Les appareils de la maison Siemens et Halske sont des appareils de précision pour l'industrie. Le cadre mobile est bobiné avec du fil de cuivre, de manière à rendre négligeables les corrections dues aux variations de température, et une résistance en maillechort est ajoutée en série avec ce fil. La résistance du fil de cuivre est inférieure à 200 ohms, et la résistance du fil de maillechort atteint 15,000 ohms par 100 volts. Dans ces appareils, l'extrémité de l'aiguille est aplatie et se déplace devant une glace étamée sur laquelle est tracée la graduation. On peut ainsi viser l'aiguille et son image, et la superposition de ces deux figures supprime toute erreur de parallaxe.

L'Allgemeine E. G. expose également des appareils de cette nature à cadre mobile analogues aux précédents. La boîte renfermant ces instruments a la forme d'un triangle dont le côté supérieur opposé à l'axe de rotation de la partie mobile est un arc de cercle.

Pour tous ces appareils, lorsque la tension du courant dépasse une certaine limite, on emploie des résistances extérieures ou shunts composés de lames d'alliage à faible coefficient de température (maillechort, nickeline, manganine) réunies aux deux extrémités dans des blocs de laiton auxquels sont fixées des prises de courant spéciales. Un de ces shunts exposés par l'Allgemeine E. G. est destiné à mesurer 8,000 ampères; sa résistance est de 0,0000075 ohms et absorbe 480 watts; sa surface de refroidissement est de 32 centimètres carrés environ par watt. Il est construit en nickeline. Les shunts de la maison Hartmann et Braun sont composés de lames de manganine. Chaque lame est emboutie, comme les couvercles des boîtes métalliques : on peut ainsi se dispenser de mettre un isolant entre les différentes lames.

La maison Siemens et Halske construit des shunts en manganine pour les mesures de précision. Ces shunts sont plongés dans un bain de paraffine.

En Angleterre, la maison Crompton expose des ampèremètres et des voltmètres du genre d'Arsonval-Weston, à cadre mobile, dans lesquels l'aimant est circulaire et sans pièces polaires rapportées. Nous trouvons dans le stand de ces constructeurs des milliampèremètres, des millivoltmètres, des voltmètres et ampèremètres pour l'essai des accumulateurs et des appareils grand modèle pour les stations centrales.

La maison White présente une série d'appareils de précision à cadre mobile. La principale particularité de ces instruments est la suppression des pivots du cadre en vue de supprimer les frottements qui en résultent. Le cadre mobile est dès lors suspendu par les ressorts spiraux qui lui amènent le courant et produisent en même temps le couple résistant. Cette disposition, grâce à une fabrication particulièrement soignée, donne des résultats avantageux. Quand l'aiguille est au zéro, elle vient buter contre un ressort, ce qui permet de transporter facilement l'instrument.

La maison White présente deux types d'appareils, l'un renfermé dans une boîte cylindrique et que l'on applique à plat contre un tableau, l'autre renfermé dans une boîte triangulaire, la graduation et l'aiguille se trouvant sur la tranche du cylindre opposée à l'axe de rotation de l'équipage mobile (disposition analogue à celle signalée plus haut chez MM. Hartmann et Braun).

En Amérique, la maison Weston expose un ampèremètre et un voltmètre à cadre mobile de son système, dans lesquels les aimants subissent un traitement particulier qui les préserve des variations magnétiques qui nuisent quelquefois à la régularité du fonctionnement des appareils à aimants.

La maison Eldridge Electric Manufacturing Cy présente un voltmètre à cadre mobile forme montre destiné aux essais des batteries d'accumulateurs.

Nous citerons, en dernier lieu, une disposition qui tend à se généraliser, dans laquelle deux appareils (voltmètre et ampèremètre) sont réunis dans une même boîte. Ces appareils sont destinés soit à la vérification des voitures électriques, soit à celle des compteurs, soit à celle d'une installation quelconque extérieure à l'usine de production d'électricité.

La maison Chauvin et Arnoux construit des appareils disposés l'un au-dessous de l'autre dans une boîte renfermant également des shunts avec lesquels on peut faire toutes les vérifications de 0 à 600 volts, la résistance totale pour 600 volts étant de 120 000 ohms.

Les maisons Hartmann et Braun et l'Allgemeine E. G. présentent des appareils groupés deux par deux, horizontalement, dans des boîtes qui laissent apercevoir les cadrans et les aiguilles. Ces appareils sont tous à cadre mobile et construits avec beaucoup de soin, afin de résister au transport.

AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES À ÉLECTRO-AIMANT FIXE ET À CADRE MOBILE.

La Société des Téléphones expose des appareils de ce système étudiés par M. Caron, qui a substitué l'électro-aimant à l'aimant permanent, afin de rendre possible l'emploi des galvanomètres à cadre mobile du type Deprez-d'Arsonval pour la mesure des courants alternatifs.

L'appareil se compose d'un cadre mince en fil fin supporté par une chape en aluminium; ce cadre peut osciller autour d'un axe perpendiculaire à son plan. Il est placé dans le champ d'un système de deux électro-aimants en fer à cheval, en tôles minces, disposés symétriquement de manière que l'entrefer de chacun d'eux embrasse chaque côté du cadre. La distance entre les pièces polaires est très faible et la forme de celles-ci est telle que l'on peut admettre comme certaine l'uniformité du champ. Le cadre mobile est supporté par un équipage en métal non magnétique, qui constitue un pendule oscillant. Un contrepoids réglable permet de déplacer à volonté le centre de gravité du système. Les oscillations sont amplifiées au moyen de deux petites bielles articulées avec l'aiguille. Celle-ci est, en outre, reliée à un ressort spiral, qui sert à déterminer le zéro de l'instrument. L'apériodicité est obtenue par deux amortisseurs à air composés de cloches, dans lesquelles entrent des pistons supportés par une traverse horizontale fixée à la chape de suspension du cadre.

L'ampèremètre est muni, quelle que soit l'intensité du courant, d'un petit transformateur dont le primaire ne comporte qu'une spire en série sur le circuit dont on mesure l'intensité et dont le secondaire est en série avec l'appareil. Celui-ci a toujours une grande résistance ohmique.

Dans le voltmètre, l'enroulement inducteur des électros est en maillechort et de résistance élevée, afin d'assurer à l'appareil une sensibilité constante et de donner, dans le terme *impédance* du circuit galvanométrique, la prépondérance au terme *résistance* sur le facteur *réactance*.

Dans ces conditions, les indications du voltmètre sont à peu près indépendantes de la fréquence du courant. Afin d'augmenter cette indépendance, un petit transformateur est logé dans l'appareil, le primaire étant monté en dérivation sur les bornes du voltmètre et le secondaire étant branché aux bornes du cadre. Pour les hauts voltages, un transformateur destiné à abaisser la tension est adjoint à l'appareil.

Ces appareils sont les seuls de ce genre qui figurent à l'Exposition; ils ne peuvent être employés pour les courants continus.

AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES BASÉS SUR L'INDUCTION.

Les appareils à induction se rencontrent principalement dans la Section allemande. Dans ces appareils, un ou plusieurs électro-aimants à noyaux en fer laminé développent

dans un disque ou un tambour léger des courants induits. A l'aide d'un écran conducteur, dissymétrique par rapport à l'électro-aimant, on crée un champ tournant qui réagit sur le disque et tend à lui imprimer un mouvement de rotation. Ces appareils doivent être gradués pour la fréquence à laquelle ils sont destinés; on peut arriver à leur faire donner des indications exactes pour des valeurs comprises entre 10 p. 100 en plus ou en moins de la fréquence du régime.

Dans les instruments exposés par l'Allgemeine E. G. l'induit est un disque d'aluminium monté sur un axe horizontal qui porte l'aiguille, et la force antagoniste est fournie par deux petits ressorts spiraux. Ces ressorts sont égaux et enroulés en sens inverse pour éviter les déplacements du zéro par suite de la dilatation. La partie inférieure du disque pénètre dans l'entrefer très petit d'un électro-aimant en fer à cheval alimenté par le courant à mesurer. Les pôles de l'électro-aimant sont partiellement recouverts par des écrans en laiton, qui se prolongent d'un côté pour entourer partiellement le disque. Cette différence suffit pour créer la dissymétrie nécessaire. Sous l'influence du champ alternatif de l'électro, il se développe des courants induits dans la partie du disque non protégée par les écrans. Des courants induits de même nature prennent également naissance dans les portions des écrans engagés sous les pôles de l'électro. Il se produit ainsi un couple qui tend à faire tourner le disque et par suite l'aiguille. L'appareil est rendu apériodique au moyen d'un aimant permanent dont les branches embrassent le disque.

Les ampèremètres jusqu'à 600 ampères sont construits comme les voltmètres; au delà, l'électro-aimant est enroulé en fil fin et relié à un transformateur qui sert d'intermédiaire entre l'instrument et la canalisation à mesurer. Les courants de cette dernière ne passent, par suite, jamais par l'appareil.

La maison Siemens et Halske construit des appareils différents, bien que basés sur le même principe. Ces appareils, connus sous le nom de *Ferraris*, comprennent un tambour en aluminium en forme de cloche, pouvant tourner autour d'un axe vertical, et dont les bords pénètrent dans les entrefers de deux systèmes d'électro-aimants disposés radialement suivant deux diamètres perpendiculaires. A l'intérieur de la cloche est un noyau de fer doux destiné à diminuer la réluctance des circuits magnétiques des électros. Les enroulements des électros correspondant à un des diamètres reçoivent le courant à mesurer, les enroulements des autres sont fermés sur eux-mêmes. Il se produit ainsi un champ tournant qui tend à entraîner la cloche que retient un ressort spiral. L'apériodicité est obtenue au moyen d'un disque en aluminium calé sur l'axe de la cloche et dont les bords pénètrent entre les branches de deux aimants permanents en fer à cheval.

MM. Hartmann et Braun exposent également des ampèremètres et des voltmètres à induction, dans lesquels le champ de rotation est du système *Ferraris*. Ces appareils sont à freinage magnétique et sont peu influencés par la fréquence. Ils sont munis de transformateurs pour toutes les intensités et pour toutes les tensions.

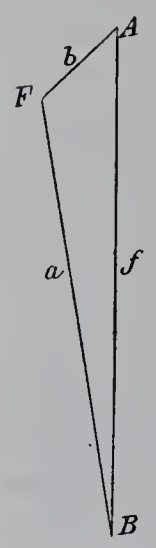
AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES THERMIQUES.

Dans les appareils de cette nature, dont le premier type est le voltmètre de Cardew, c'est la dilatation d'un fil métallique très fin, traversé par le courant, qui donne la mesure de celui-ci. On emploie peu aujourd'hui l'appareil Cardew à cause de ses dimensions, qui le rendent difficilement maniable. On construit actuellement beaucoup de modèles dans lesquels le fil chauffé est d'une longueur très réduite, ou disposé de telle façon qu'il peut être casé dans une boîte cylindrique de dimension ordinaire.

Le développement de la construction de ces instruments à température a suivi la progression de l'emploi des courants alternatifs qu'ils peuvent mesurer aussi bien que les courants continus. Leur inductance est extrêmement faible et leurs indications sont indépendantes de la fréquence et de la forme des courbes des courants.

La maison Carpentier expose des appareils thermiques dans lesquels le mouvement de l'aiguille est obtenu par la dilatation du fil dans lequel passe le courant à mesurer.

Les appareils de la maison Chauvin et Arnoux comportent un dispositif pour amplifier la dilatation du fil, et un compensateur de la température extérieure. Les fils sont en cuivre et n'ont que 0 m. 10 environ de longueur. Le dispositif amplificateur de la dilatation du fil thermique consiste à atteler le fil dilatable de longueur variable f à un levier de longueur b fixe et très petit, qui, avec le bâtin de longueur fixe a, constitue un triangle dont l'angle F, opposé au fil dilatable, est très voisin de 180 degrés. Entre les différentes quantités, on a la relation :



$$f^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos F$$

qui, différentiée, devient :

$$f df = ab \sin F dF$$

c'est-à-dire :

$$\frac{dF}{df} = \frac{f}{ab \sin F},$$

relation qui montre que la variation dF de l'angle F, correspondant à un allongement donné df du fil dilatable f, sera maximum en faisant le levier b très petit et l'angle F très voisin de 0 degré ou de 180 degrés. Le côté b est constitué par le rayon d'un petit cylindre sur lequel est fixé le fil f par une extrémité.

Les constructeurs sont arrivés par ce moyen à obtenir une déviation de 90 degrés à l'aiguille avec une consommation de 0,35 watt dans le fil, ce qui correspond, pour l'ampèremètre, à un courant de 3,5 ampères sous 0,1 volt.

Pour compenser la température ambiante, un faisceau de fils identiques au fil dilatable est fixé parallèlement à celui-ci et l'ensemble est tendu par un fort ressort. L'aiguille est actionnée par un amplificateur mécanique relié au point B.

Les appareils thermiques de la maison Fabius Henrion fonctionnent par la dilatation d'un fil de platine-argent. Comme ces appareils sont très sensibles aux variations de

température, il est nécessaire d'immobiliser l'aiguille. On obtient ce résultat au moyen d'un disque de cuivre fixé sur l'axe de l'aiguille et passant entre les branches d'un aimant fixe. Ce procédé donne en même temps l'apériodicité.

Dans les appareils de M. J. Richard, le fil dilatable est assez long et circule dans l'enveloppe de l'appareil sur des poulies de renvoi en ivoire. Chaque portion du fil se dilatant, les dilatations se totalisent à l'extrémité.

Le fil thermique est fixé d'une part à un système de compensateur constitué par du zinc et de l'acier nickel qui rend l'appareil indépendant des variations de la température extérieure. Après avoir passé sur les poulies, il aboutit à l'extrémité du petit bras d'un levier, au grand bras duquel s'attache un fil inactif qui, après avoir fait un tour sur un tambour, calé sur l'axe de l'aiguille, vient se souder à l'extrémité d'un ressort dont le rôle est de maintenir une tension constante dans tout le système. Le fil est monté en série avec un rhéostat placé dans le boîtier de l'instrument; ce boîtier est percé de trous pour assurer le refroidissement. Pour les hautes tensions, le rhéostat est remplacé par un transformateur-réducteur.

Dans les appareils à fil chaud de la maison Gaiffe, la flèche du fil donne la mesure du courant. Le support est en acier Guillaume et, par suite, ne se dilate pas. La dilatation du fil n'est pas compensée lors des variations de la température ambiante et il faut faire à chaque opération la remise au zéro.

Dans les appareils thermiques de la maison Hartmann et Braun qui ont donné un essor considérable à la construction de ces instruments, le fil dilatable est un fil court platine-argent, tendu entre deux poupées fixées sur deux platines de métaux différents ajustées entre elles, en vue d'éliminer les actions perturbatrices dues aux variations extérieures de température. L'une des extrémités du fil est serrée dans une pince à vis qui permet d'en modifier la tension. En un point du fil dilatable, à une petite distance de son milieu, est soudé un autre fil très fin électriquement inactif, dont le milieu est lui-même relié, au moyen d'un troisième fil, à une poulie calée sur l'axe qui porte l'aiguille. Cette disposition augmente sensiblement la flèche que prend le fil dilatable quand le courant passe. Un ressort spiral antagoniste fixé sur l'axe de l'aiguille maintient constamment tendu le système du fil dilatable et du fil d'amplification. En outre, un disque en aluminium, calé sur l'axe dont le bord s'engage dans l'entrefer d'un petit aimant permanent en fer à cheval, produit un amortissement magnétique et rend l'appareil apériodique.

Dans le voltmètre, une résistance de 1.000 ohms environ pour 100 volts à mesurer est montée en série avec le fil dilatable et fait partie de l'instrument. Dans l'ampèremètre, il n'y a pas de résistance en série; le fil est relié aux bornes d'un shunt de faible résistance dans lequel passe le courant. Pour les hautes tensions au-dessus de 400 volts, les voltmètres sont accompagnés de résistances auxiliaires appropriées ou de transformateurs. Pour les courants d'intensité supérieure à 100 ampères jusqu'à 20.000 ampères, les ampèremètres fonctionnent avec des shunts séparés ou avec des transformateurs.

Imprimerie nationale.

La maison Hartmann et Braun a livré dans ces dernières années 22,000 de ces appareils installés soit dans des boîtes rectangulaires transportables, soit dans des boîtiers ronds pour tableaux de distribution.

La maison Ganz, de Budapest, expose un voltmètre de Cardew dans lequel le fil en platine-argent a un diamètre de 0 m. 030 et une longueur de 4 mètres. Les variations de sa longueur sont transmises à l'aiguille au moyen d'un petit tambour actionné par un ressort de telle sorte que le fil, s'enroulant sur ce tambour, reste toujours tendu.

M. Olivetti a cherché dans la construction de ses ampèremètres thermiques à réduire la dépense d'énergie nécessaire au fonctionnement de ces appareils. Le dispositif employé est caractérisé par la diminution de résistance du shunt annexé à l'instrument.

Le fil, d'une longueur de 0 m. 10 à 0 m. 12 et du diamètre de 0^{mm} 04, est un alliage d'argent et de platine ayant un coefficient de température très faible. Le fil dilatable est relié à l'une des bornes du shunt par ses deux extrémités et par son milieu et à l'autre borne par deux points placés au milieu des deux parties ainsi constituées. Les liaisons se font au moyen de fils d'argent très souples. La quantité d'énergie absorbée dans le shunt, lors du passage du courant, se trouve ainsi sensiblement réduite, tout en dépensant dans le fil la même quantité de chaleur.

Le dispositif amplificateur est basé sur l'emploi d'un levier indépendant sur lequel est soudé une extrémité du fil dilatable très près du point d'articulation dudit levier. Le levier et le fil sont parallèles quand le courant ne passe pas dans le fil; dès que celui-ci s'échauffe, il s'allonge et l'extrémité du levier parcourt un chemin beaucoup plus grand que le point où le fil dilatable est soudé; un cordonnet, fixé à l'extrémité du levier, passe sur une poulie portant l'aiguille indicatrice qui se meut sur un cadran gradué.

Dans le voltmètre, le fil a 0^{mm} 03 de diamètre et est enroulé plusieurs fois sur deux poulies de porcelaine à gorges de manière à atteindre une longueur de 1 mètre. Chaque brin se dilate sous l'influence du courant, de sorte que l'allongement total est égal à la somme des allongements des brins.

AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES ENREGISTREURS.

Il arrive fréquemment que l'on a besoin de connaître à un moment quelconque, dans une usine de production d'énergie électrique ou sur un point de consommation, l'intensité ou la tension du courant. Les constructeurs ont donc été amenés à établir des appareils enregistreurs, et le problème ne manque pas de présenter certaines difficultés en raison de la faible force directrice que présentent les instruments en usage, et du trouble que peut apporter à leur fonctionnement le frottement de la plume ou du style sur le papier.

Dans le modèle présenté par le laboratoire Volta, étudié par M. Abdank-Abakanowicz, l'aimant est très puissant et le cadre mobile a des dimensions telles que le

couple moteur n'est aucunement influencé par le déplacement de la plume sur le cylindre. Cet appareil est d'ailleurs destiné à être monté sur une locomotive électrique; de là ses dimensions et sa robustesse un peu anormales.

L'appareil enregistreur de MM. Chauvin et Arnoux se compose d'un cadre galvanométrique mobile constitué par un conducteur enroulé sur un cadre de cuivre pur servant d'amortisseur. Ce cadre, pivoté entre deux pointes engagées entre deux crapaudines en pierres fines, peut osciller autour d'un cylindre de fer doux fermant le circuit magnétique d'un aimant permanent très puissant. Le courant est amené au cadre par deux ressorts spiraux en métal diamagnétique armés l'un contre l'autre pour assurer la fixité du zéro. L'aiguille de l'appareil est constituée par un tube d'aluminium dont l'extrémité porte une plume molette. Cette plume est formée de deux coquilles montées sur un même axe pivoté entre pierres. Ces deux coquilles constituent un récipient dont le plan médian est occupé par une rondelle poreuse imbibée par l'encre que lui apporte un réservoir fixé à la coquille supérieure. La rondelle est seule en contact avec le papier et trace par roulement un trait représentant les variations d'intensité du courant. Le tambour enregistreur qui porte le papier tourne proportionnellement au temps au moyen d'un mouvement d'horlogerie, dont l'échappement se compose d'un disque en cuivre, qui tourne dans l'entrefer d'un aimant en fer à cheval sous l'action du ressort du barillet. On peut ainsi, en shuntant plus ou moins l'aimant, faire varier la vitesse de déroulement du rouage et obtenir des tracés de courbes dans des temps très différents.

Dans les appareils de la maison J. Richard la force directrice est très considérable. Un électro-aimant en fer à cheval attire une armature pivotante et celle-ci porte un index muni d'une plume Richard. Le tracé se fait sur un cylindre qui renferme intérieurement le mouvement d'horlogerie. Dans cet instrument, les ordonnées sont tracées en arcs de cercles dont l'axe de rotation de la plume est le centre.

Dans les appareils thermiques enregistreurs de M. Richard, l'aiguille est remplacée par un style d'aluminium terminé par une plume, qui trace le diagramme sur un cylindre à axe horizontal placé en dessous de l'instrument. Ce cylindre est mû par un mouvement d'horlogerie.

Les appareils thermiques enregistreurs de la maison Hartmann et Braun sont disposés de telle sorte que la dilatation du fil agit sur un système amplificateur qui fait tourner dans le même sens deux poulies de grand diamètre construites en métal léger. Un second fil, non traversé par le courant, compense les effets de la température extérieure. Le fil entourant les poulies porte d'un côté la plume qui inscrit les variations sur un cylindre à axe vertical placé entre les deux poulies. Un frein électro-magnétique amortit les oscillations. Le cylindre est actionné par un mouvement d'horlogerie. L'appareil est placé dans une boîte rectangulaire munie de trois glaces; au milieu se trouve le cylindre, et dans les deux autres on peut apercevoir les poulies.

La même maison expose des ampèremètres et voltmètres enregistreurs pour courant continu et alternatif se composant d'un galvanomètre à ressort fortement amorti (d'après

le modèle de Kohlrausch) dont l'aiguille est munie d'une plume se déplaçant devant un tambour mû par un mouvement d'horlogerie proportionnellement au temps. Ces appareils sont en général doubles : d'un côté est l'ampèremètre, de l'autre le voltmètre et les deux plumes inscrivent les variations du courant sur le même cylindre. L'appareil est muni d'un amortisseur à air réglable pour parer aux effets de secousses subites.

Dans les appareils enregistreurs pour courants alternatifs de l'*Allgemeine E. G.*, l'aiguille est prolongée par un style, qui trace la courbe des courants sur une bande de papier verticale enroulée sous deux cylindres dont l'un est mû par un mouvement d'horlogerie.

Les appareils enregistreurs du Dr Horn sont appliqués à des ampèremètres et des voltmètres du genre *Weston*. L'échelle du voltmètre s'étend seulement au-dessus du point d'origine (zéro inférieur) et celle de l'ampèremètre est placée d'une manière identique à partir de son zéro, de façon que si l'on veut mesurer les diagrammes au planimètre, les indications peuvent servir à contrôler la consommation d'électricité. La bande de papier a une longueur de 50 mètres et peut servir pour trois mois. La bande sur laquelle sont inscrites les courbes, sort par une ouverture ménagée à la partie inférieure de la boîte qui recouvre l'appareil et peut être coupée chaque jour.

Dans les appareils enregistreurs de MM. Siemens et Halske, appliqués aux instruments à champ Ferraris, l'enregistreur est mû électriquement et marque, toutes les trois secondes et demie environ, les indications sur une bande de papier de 45 mètres environ de longueur se déroulant de 240 millimètres à l'heure.

M. J. White construit des enregistreurs étudiés par lord Kelwin pour les feeders. Cet instrument se compose d'un ampèremètre et d'un voltmètre enregistreurs combinés. Il indique sur la même feuille la valeur de l'intensité du courant et le voltage au point d'arrivée. Les mouvements d'horlogerie commandant ces appareils sont ou indépendants les uns des autres, ou commandés par un même régulateur.

M. White établit également un ampèremètre pour enregistrer les pertes à la terre. Cet instrument répond à l'une des exigences du Board of Trade qui a prescrit que le courant du conducteur à la terre devait être enregistré à la station génératrice, de manière que s'il dépasse de 1/1.000 le courant principal maximum, des mesures doivent être prises de suite pour améliorer l'isolation du circuit. Dans ce cas, un coupe-circuit fonctionnant automatiquement isole l'instrument lorsque la perte à la terre dépasse la quantité voulue.

VOLTMÈTRES À SIGNAUX OPTIQUES ET ACOUSTIQUES.

On utilise beaucoup aujourd'hui, dans les usines électriques, des voltmètres sans graduation dénommés *enregistreurs de tension*, et qui indiquent, au moyen d'un signal optique et acoustique, les variations de la tension en dehors de la normale.

M. Richard expose un appareil de ce genre destiné à être placé en dérivation sur le

circuit et sur le couvercle duquel se trouvent deux lampes et une sonnerie. Les deux lampes sont de couleurs différentes : l'une s'allume lorsque la tension du courant de distribution est trop haute, l'autre lorsque la tension est trop basse. Dans le régime normal les deux lampes sont éteintes. Le même appareil est applicable aux ampèremètres.

MM. Chauvin et Arnoux et Fabius Henrion présentent des appareils du même genre remplissant le même objet.

La maison Hartmann et Braun expose des indicateurs de tension pour courants continus et alternatifs, dans lesquels un noyau de fer doux est suspendu horizontalement dans un solénoïde. L'une des extrémités agit sur un levier qui se termine par un anneau suivant un diamètre duquel peut coulisser une pointe métallique destinée à produire des contacts sur les pièces d'un relais placées de part et d'autre de la pointe; celle-ci est entourée par un ressort à boudin dont les deux extrémités s'appuient sur l'anneau. Dans ces conditions, quand l'aiguille éprouve des oscillations brusques, le ressort fait néanmoins appuyer la pointe sur la pièce du relais, ce qui évite les ruptures intempestives de contact qui ferment et ouvrent le circuit de l'avertisseur (sonnerie et lampes).

Les appareils de l'Allgemeine E. G. sont analogues aux précédents et sont munis de deux sonneries et de deux lampes.

Il en est de même des appareils de la maison Siemens et Halske.

ÉTALONS DE FORCE ÉLECTROMOTRICE.

Les étalons de force électromotrice n'ont pas la fixité des étalons d'intensité ou de résistance dont les variations possibles sont dues à des modifications moléculaires très faibles des métaux employés dans leur construction. Ces étalons, qui ne sont autre chose que des piles, subissent avec le temps des variations lentes mais continues. On a donc cherché à établir une pile dans des conditions déterminées, faciles à reproduire, et ayant une force électromotrice bien connue.

C'est ainsi que le Congrès de Chicago, en 1894, a admis l'élément Latimer-Clark comme étant l'un de ceux présentant les garanties désirables. Il en est cependant un certain nombre d'autres modèles construits par diverses maisons.

M. Carpentier expose un élément Latimer-Clark constitué de la façon suivante : Dans un récipient fermé à la partie inférieure est une couche de mercure dans laquelle plonge un fil de platine protégé par un tube de verre. Au-dessus du mercure est une pâte composée de sulfate mercureux et de sulfate de zinc, au-dessus de laquelle est un bouchon percé de deux trous permettant le passage à frottement du zinc, d'une part, et du tube de verre contenant le fil de platine, d'autre part. Le zinc, qui porte le pôle négatif, plonge dans la pâte sans toucher le mercure. Le récipient est alors rempli de glu marine rendue fluide par la chaleur. La force électromotrice de cette pile est de 1.434 volts à 15 degrés centigrades.

Le même constructeur présente un étalon au bioxyde de mercure de M. Gouy, dont

la régularité approche de l'étalon Clark. L'électrode positive est, comme dans le cas précédent, constituée par du mercure; le contact est pris par un fil de platine isolé par un tube de verre. Une couche de bioxyde de mercure recouvre le mercure et, au-dessus, est une solution de sulfate de zinc; enfin, l'électrode négative est formée par un bâton de zinc pur amalgamé, enfermé dans un cylindre de verre fermé et percé d'un orifice à la partie inférieure. Le tout est contenu dans un récipient en verre à deux tubulures laissant passer les électrodes positive et négative. La force électromotrice de cet étalon est de 1.389 volts à 14 degrés centigrades.

Enfin, M. Carpentier présente un élément à base de cadmium constituant l'étalon Weston, dans lequel le coefficient de variation est plus faible que dans les éléments précédents.

MM. Chauvin et Arnoux exposent des éléments Latimer-Clark munis d'un thermomètre afin de pouvoir faire la correction de la variation de la température dans les mesures potentiométriques.

L'Institut physico-technique de Charlottenbourg a modifié légèrement la construction de l'étalon Latimer-Clark. Le vase en verre est placé dans une enveloppe métallique fermée à la partie supérieure par un couvercle en ébonite. Sur ce couvercle sont fixées des bornes entre lesquelles passe la tige d'un thermomètre. L'électrode de platine amalgamé plonge dans une pâte de sulfate de mercure, de zinc et de mercure contenue dans un vase poreux. La tige de zinc pur pénètre dans des cristaux de sulfate de zinc recouverts par une solution saturée de ce sel, et est protégée par un tube de verre dans son passage à travers le liquide. Celui-ci est recouvert d'une couche de paraffine au-dessus de laquelle est du liège râpé, et enfin de résine fondue. Cette disposition présente l'avantage de rendre l'élément transportable.

L'étalon Weston, étudié par le même Institut d'une façon toute spéciale, est également représenté à l'Exposition.

MM. Hartmann et Braun exposent des piles étalons Weston et Latimer-Clark construites d'après les principes de Charlottenbourg. Ils présentent en outre un élément de Rayleigh, modifié par le Dr Kahle. Le vase en verre, qui constitue cette pile, se termine, à la partie inférieure, par deux poches dans lesquelles pénètrent les fils de platine reliés aux électrodes. Celles-ci consistent : l'une en un disque de platine amalgamé électrolytiquement, de un centimètre de diamètre, l'autre en une couche d'amalgame de zinc qui remplit le fond de la poche correspondante. Le mercure du disque de platine amalgamé est recouvert d'une pâte composée d'un mélange de sulfate mercureux (mercure et sulfate de zinc); au-dessus de cette pâte, ainsi que sur la couche d'amalgame de zinc de l'autre poche, est placée une nouvelle couche de sulfate de zinc en cristaux, d'un centimètre d'épaisseur. Le reste de l'espace libre du vase est rempli d'une solution concentrée de sulfate de zinc. L'appareil comporte en outre un thermomètre.

En Angleterre, les maisons Crompton et J. White exposent des éléments étalons Clark.

III. — MESURE DES RÉSISTANCES.

RÉSISTANCES ÉTALONS ET RÉSISTANCES INDUSTRIELLES.

La mesure des résistances est l'une des plus importantes de l'électrométrie, aussi bien dans les laboratoires que dans les applications industrielles; la construction d'étalons, aussi rigoureusement précis que possible, présente donc un intérêt de premier ordre. Le Congrès de Chicago a donné à la valeur de l'ohm la résistance d'une colonne de mercure de 106 centimètres 3 de longueur et d'une section uniforme telle que le poids du mercure qu'elle renferme soit de 14 grammes 452 à 0 degré centigrade. C'est l'*ohm international*. Dans l'*ohm légal* adopté en France, de 1884 à 1895, la hauteur de la colonne de mercure était de 106 centimètres et la section de 1 millimètre carré. Dans les laboratoires bien montés, il est nécessaire d'avoir un étalon à mercure pour contrôler les étalons en fil métallique, qui sont employés, en général, pour l'étalonnage des appareils industriels.

La maison Carpentier expose des copies des prototypes de l'étalon de l'ohm à mercure et des étalons secondaires, d'après le modèle de M. Benoit. Dans ce modèle, la colonne de mercure est renfermée dans un tube de verre de 1 millimètre carré de section et de longueur réglée par tâtonnement de manière à amener la valeur aussi près que possible de l'unité. Ce tube est replié plusieurs fois sur lui-même de manière à occuper moins de place. Les extrémités du tube pénètrent dans des flacons dans lesquels sont amenés les conducteurs de courant. La liaison se fait au moyen de tubes de caoutchouc. Ces flacons ont environ 500 à 600 fois la section du tube. L'ensemble est renfermé dans un bocal en verre fermé par un couvercle à travers lequel passent les extrémités des flacons qui sont bouchés à l'émeri.

On trouve dans le même stand un modèle d'étalon de l'ohm en fil métallique. Le fil de maillechort est enroulé sur une bobine en bois paraffiné et recouvert d'une couche de paraffine destinée à empêcher les dérivations par suite de l'humidité. La bobine est placée dans un cylindre en laiton enduit de paraffine à l'intérieur, et la boîte, fermée par un couvercle en ébonite, laisse passer la tige d'un thermomètre. Les conducteurs d'amenée de courant sont fermés par deux tiges cylindriques en cuivre rouge, qui sortent du couvercle et sont recourbées à angle droit de manière que leurs extrémités puissent plonger dans des godets pleins de mercure.

La maison Carpentier présente en outre une série de résistances étalonnées industrielles. Une bobine de un ohm dans un bain de pétrole pouvant supporter 2 ou 3 ampères. Une résistance de 0,01 ohm en fil de manganin (alliage de cuivre et de manganèse) avec refroidissement par l'air; cet alliage doit subir un vieillissement artificiel, dans une étuve à 100 degrés, pour avoir une résistivité indépendante de la température; une résistance de 0,001 ohm en maillechort, à circulation d'eau, pour 1.000 ampères; enfin, 0,0001 ohm en maillechort, avec circulation d'eau, pour 2,000 ampères.

La maison Chauvin et Arnoux construit des résistances en constantan (alliage de cuivre et de nickel), métal qui a une résistivité constante avec la température.

MM. Hartmann et Braun exposent des résistances étalons de 0,001 ohm à réfrigération intensive, pouvant convenir pour des courants de 1.000 ampères. La résistance, qui consiste en une lame de manganin d'une grande surface de refroidissement, est placée dans un vase en métal dans lequel on verse du pétrole. Un serpentin alimenté par de l'eau courante et un agitateur appliqué à la partie supérieure permettent de maintenir un refroidissement suffisant.

L'étalon de résistance établi par l'Institut physico-technique de Charlottenbourg consiste en un tube calibré qui renferme le mercure. Le tube a été rempli dans le vide et scellé. A chaque extrémité sont soudées trois paires de fils de platine. Par une paire de fils est amené le courant; par l'autre, les points entre lesquels est mesurée la résistance sont exactement déterminés; enfin, au moyen de la troisième, on peut shunter la colonne de mercure de façon à amener la résistance à la valeur voulue. L'ensemble est placé dans une caisse rectangulaire à parois épaisses et remplie de liquide dont la température est maintenue constante au moyen d'un agitateur placé à la partie inférieure.

Cet établissement présente, en outre, des résistances très élevées dites de *Kundt*, constituées par un mélange de chlorures d'or et de platine délayés dans de l'huile de camomille. On trace avec ce mélange, dans lequel on a trempé un pinceau, une hélice sur un cylindre de porcelaine monté sur un tour; le cylindre, ainsi préparé, est placé dans un four à la température du rouge. On obtient, après cuisson, une hélice formée d'un alliage or-platine extrêmement mince et très adhérent. On arrive ainsi à des résistances considérables. Avec un tube de 0 m. 04 de diamètre et de 0 m. 15 de hauteur, l'hélice ayant 0,001 m. de largeur et un pas de 0,0005, la résistance atteint plusieurs méghoms. Ce procédé est économique pour se procurer des résistances très élevées, dont la réalisation est en général coûteuse.

M. Edelmann emploie pour l'établissement des bobines de résistance en manganin le mode de construction suivant, qui lui permet d'avoir de véritables étalons constants et précis. La bobine est faite avec du vieux bois d'érable passé à la gomme laque; elle est ensuite chauffée jusqu'au ramollissement de la gomme laque. La bobine est divisée en deux compartiments de diamètres inégaux. Dans le plus grand, celui du bas, un gros fil est enroulé suivant le principe du double enroulement; ce fil est isolé par deux couches de soie trempée dans la gomme laque, ses deux extrémités sont soudées à l'argent aux bornes supérieures. La résistance de ce fil dépasse légèrement de $\frac{1}{100}$ environ la résistance à réaliser. On soude ensuite aux bornes deux fils fins d'une résistance 100 fois plus grande, que l'on enroule dans le compartiment supérieur de la bobine; les extrémités de ces fils sont fixées dans des prises de courant placées à la partie inférieure de la bobine. Au moyen du fil secondaire, on corrige l'excès de la résistance de l'ensemble.

L'étalon de la maison Siemens et Halske est composé d'un fil de maillechort recou-

vert de soie et verni à la gomme laque. Ce fil, entouré en hélice, est suspendu dans un cylindre en bois ouvert aux deux extrémités. Cette maison expose également des résistances en manganin avec circulation d'eau.

En Angleterre, nous trouvons des appareils analogues chez M. Crompton, à la *Cambridge scientific instruments Company* et à la maison J. White.

BOÎTES DE RÉSISTANCE. — PONTS DE WHEASTONE.

Ces appareils sont construits depuis longtemps et leur construction a subi peu de modifications dans ces dernières années. Cependant, dans les nouvelles études, on tend à remplacer par des commutateurs tournant à manette les fiches employées jusqu'ici pour mettre en court circuit deux bobines successives d'une boîte de résistance.

La maison Carpentier expose un grand nombre d'appareils de ce genre. Parmi les boîtes de résistance se trouvent des boîtes de 1 bobine de 1, 10, 100 ou 1.000 ohms; des boîtes de 60 bobines disposées en 6 décades avec 10 bobines, formant bras de proportion du pont de Wheastone; des boîtes de 1 décade (10 bobines de 10.000 ohms); des boîtes de 16 bobines formant bras de proportion du pont de Wheastone; des boîtes de 4 bobines formant 100.000 ohms et des boîtes de 10 bobines allant jusqu'à 1 méghom.

Ce constructeur présente en outre des boîtes à grande surface de refroidissement contenant 10 bobines de 10.000 ohms, pouvant supporter 1.000 volts et des boîtes de même nature renfermant 10 bobines de 100.000 ohms et 10 bobines de 10.000 ohms, soit au total 1.100.000 ohms, pouvant supporter 10.000 volts. Nous trouvons également des boîtes à contacts glissants constituant un rhéostat simple à deux décades, un rhéostat circulaire double à quatre décades et un appareil analogue au précédent avec pont de Wheastone, mais ayant en plus une série de résistances disposées de telle sorte que, pour la manœuvre d'une manette supplémentaire, on obtient entre les bras de proportions les rapports : 100, 10, 1, $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{100}$.

Enfin M. Carpentier présente un pont de Wheastone, grand modèle, muni de tous les instruments étalons nécessaires pour les mesures les plus délicates; et un pont, basé sur le principe du pont double de Thomson, pour la mesure des résistances comprises entre 1 microhm et 1 ohm.

La maison Bréguet et M. Ducretet présentent des boîtes de résistance à fiches et des rhéostats étalonnés genre Wheastone.

MM. Chauvin et Arnoux ont créé un modèle de caisse pour les mesures de résistances électriques, permettant, avec un galvanomètre à réflexion, des mesures précises. La caisse contient un pont de Wheastone à décades, un pont double de Thomson et différentes clefs de contact. Les résistances en décades et les bras de proportion des deux ponts sont commandés par des curseurs pouvant être déplacés le long de barettes munies de ressorts de rappel à leurs extrémités.

La maison Hartmann et Braun emploie pour les rhéostats des commutateurs à brosse

qui, dans leur mouvement, opèrent le nettoyage des contacts. Les brosses sont supportées par une manette isolante qui se termine par des index indiquant à l'opérateur la position exacte des brosses par rapport aux plots. L'appareil exposé est un rhéostat composé de décades doubles, dans lequel on peut faire varier les résistances de chaque décade double à l'aide d'une seule manette.

La même maison expose un pont de Wheastone du modèle de Kohlrausch ayant un fil de mesure de 3 mètres de longueur avec 5 résistances de comparaison allant jusqu'à 10.000 ohms, celles de valeur élevée à enroulement d'après la méthode Chaperon, et un pont de Wheastone de précision à décades et à fiches, pouvant mesurer jusqu'à 1 meghom. L'appareil est disposé de manière qu'il ne faille que six fiches pour faire toutes les mesures.

Nous trouvons enfin chez MM. Hartmann et Braun, pour la mesure des petites résistances de 0,00001 jusqu'à 10 ohms, un pont de Wheastone et un pont double de Thomson.

La plupart des constructeurs allemands exposent des boîtes de résistance et des ponts rectangulaires ou circulaires à fiches ou à manettes qui rentrent dans les modèles décrits ci-dessus. Nous nous bornerons à citer les noms des maisons qui construisent ces appareils : le docteur Edelmann, Siemens et Halske, l'Allgemeine E. G.

M. Otto Wolf présente un rhéostat construit par l'Institut impérial de physique de Berlin, qui consiste en séries de résistances en fils de manganin enroulés sur des feuilles de mica; il n'y a qu'une couche de fils sur chaque feuille. Le refroidissement est bien assuré et la self-induction réduite au minimum. Des balais en feuilles d'argent minces glissent sur les fils de la tranche des feuilles de mica et établissent la connexion; la variation de résistance qui se fait spire par spire est donc sensiblement continue. Les balais sont manœuvrés par les manettes et ils entraînent avec eux un ruban sur lequel sont inscrits des numéros correspondant à la valeur de la résistance qui est intercalée dans le circuit.

En Angleterre, la maison White présente des boîtes de résistance à fiches de lord Kelvin et des ponts de Wheastone dans lesquels les trous des fiches sont garnis de platine-argent pour assurer un bon contact. Ce constructeur établit également des appareils avec manettes de contact.

La maison Crompton et la Cambridge scientific instruments company exposent également des boîtes de résistance du même genre.

En Russie, la maison Erikson présente des boîtes de résistance de construction courante.

OHMMÈTRES À LECTURE DIRECTE.

Les appareils que nous venons de citer sont employés, en général, dans les laboratoires; on a reconnu la nécessité, en raison du développement des installations électriques, de construire des instruments facilement transportables et gradués directe-

ment en ohms. La nécessité d'un appareil de ce genre se faisait particulièrement sentir pour la mesure rapide des isolements.

On emploie pour ce genre de mesure des galvanomètres, qui peuvent être aussi bien gradués en ohms qu'en volts; il suffit de connaître la différence de potentiel aux bornes pour déduire de l'intensité mesurée la résistance cherchée.

Il est nécessaire d'avoir une force électromotrice auxiliaire qui est, soit une pile composée d'un nombre d'éléments suffisants pour la résistance à mesurer, soit une petite machine magnéto, que l'on fait tourner à la main à une vitesse à peu près constante. On peut enfin, dans certains cas, prendre le courant auxiliaire sur le circuit à mesurer. En général, les galvanomètres employés sont du genre Deprez-d'Arsonval, ayant des cadres mobiles liés ensemble et perpendiculaires entre eux. Dans l'un passe le courant constant de comparaison; dans l'autre, intercalé dans le circuit dont on mesure l'isolement, le courant est inversement proportionnel à la résistance cherchée. Sous l'influence de ces courants, réagissant dans le champ magnétique de l'aimant du galvanomètre, l'ensemble des cadres, qui est mobile sans force antagoniste, fait une certaine déviation que l'on observe au moyen d'une aiguille sur une graduation tracée expérimentalement. Le courant est amené aux cadres par de longs fils parallèles à leur axe de manière à éviter la production de tout couple résistant extérieur. On peut également employer des bobines fixes avec palette mobile; les circuits sont alors fixes.

La maison Carpentier expose un ohmmètre à circuit mobile basé sur ce principe. L'un des cadres reçoit le courant total qui passe par la résistance à mesurer; l'autre, une dérivation de ce courant prise aux bornes de la résistance. La position d'équilibre est ainsi indépendante du voltage employé pour la mesure. L'appareil est placé à côté de la magnéto qui fournit le courant; celle-ci est à tambour denté à 8 sections dans l'induit, et fournit, à 100 tours de manivelle par minute, une force électromotrice continue de 150 volts environ. Il est nécessaire que le courant soit continu, car, avec un courant ondulatoire, les résultats pourraient être faussés dans les essais de câbles à forte capacité.

La même maison présente un ohmmètre à circuits fixes dans lequel les bobines placées à 90 degrés l'une de l'autre sont fixes. Une palette de fer doux, placée au centre, prend une position qui correspond au rapport des intensités dans les bobines. La palette de fer doux porte un index qui indique, sur un cadran divisé en ohms, la valeur de la résistance entre les bornes. Pour rendre les mesures plus rapides, un bouton moleté entraîne une fourchette permettant d'amener l'index à sa position d'équilibre sans la laisser osciller. L'appareil a la forme extérieure d'un voltmètre et fonctionne à plat sur une table.

MM. Chauvin et Arnoux exposent un ohmmètre à circuits fixes basé sur le principe du pont de Wheastone, dans lequel le courant auxiliaire est fourni par une pile de 12 éléments Leclanché à liquide immobilisé. La résistance à mesurer et l'une des résistances de comparaison, dont est muni l'appareil, constituent l'une des branches du pont; l'autre branche est constituée par un conducteur enroulé sur un cylindre isolant

et maintenu en place au moyen d'un vernis spécial. On peut ainsi réaliser, sur une faible longueur, une résistance de 2.000 ohms. La longueur du fil nécessaire est donnée par un curseur à contact, qui se meut le long du cylindre rhéostat. Le galvanomètre employé est un instrument apériodique à cadre mobile dans un champ magnétique. Une forte loupe permet de voir de l'extérieur le mouvement de l'aiguille, et un bouton moleté ramène facilement celle-ci au zéro. L'ensemble des appareils est disposé dans une boîte rectangulaire de 0 m. 490 × 0 m. 105 × 0 m. 080 et constitue un instrument très portatif.

Les ohmmètres à lecture directe de la maison Hartmann et Braun comportent un galvanomètre à cadre mobile et permettent la lecture directe des résistances de 0 à 100 et de 100 à 200 ohms à une tension de 4 volts, ou de résistances d'isolation d'installations électriques à des voltages plus élevés. La graduation est proportionnelle à partir de zéro. Les variations de la tension du courant de mesure sont équilibrées jusqu'à 5 p. 100 par une dérivation magnétique.

MM. Siemens et Halske, l'Allgemeine E. G., le docteur Meyer, construisent et exposent des appareils de mesures de résistances, gradués en ohms, et analogues aux instruments décrits ci-dessus.

Un certain nombre de constructeurs exposent des appareils dits *indicateurs d'isolement*, pour réseaux en charge. On conçoit, en effet, qu'avec le développement qu'ont pris dans ces dernières années les installations électriques étendues, ce genre d'appareil trouve des emplois journaliers. Ces instruments sont constitués par des électromètres ou des voltmètres étalonnés spécialement ; ils sont, en outre, munis d'une borne de mise à la terre.

La maison Richard expose un indicateur à voltmètre renfermé dans une boîte munie de deux lampes électriques et d'une sonnerie.

Dans les appareils électrostatiques de la maison Siemens et Halske, les deux paires de secteurs fixes sont reliés aux deux pôles de la canalisation; l'aiguille mobile est reliée à la terre par l'intermédiaire d'un plomb fusible. Si l'isolement est bon, l'aiguille reste au zéro ; s'il varie, l'aiguille se charge et s'incline du côté de la paire de quadrants reliée au conducteur dont l'isolement est le plus élevé.

La maison Hartmann et Braun construit également un système électromagnétique pour courants continu et alternatif, qui permet de surveiller constamment l'état d'isolement des réseaux à deux fils. La lecture se fait directement en ohms.

Nous trouvons des instruments analogues dans le stand de MM. Siemens et Halske, ainsi que dans celui de la maison White qui construit des indicateurs d'isolement du système de Lord Kelvin.

L'Allgemeine *E. G.* expose des voltmètres électro-magnétiques gradués en ohms. L'appareil a la forme d'un voltmètre du même système, mais, au bas de l'instrument, se trouve un interrupteur qui permet de mesurer successivement l'isolement de chacun des deux conducteurs par rapport à la terre, et 3 bornes. L'enroulement de la bobine est relié d'un côté à la manette de l'interrupteur et de l'autre à la borne inférieure en

communication avec la terre; les deux autres bornes se branchent sur les conducteurs. Les conducteurs peuvent donc être mis à la terre à travers la résistance de l'instrument, et, si l'on mesure séparément la résistance réduite des isolements de chacun des conducteurs, la somme des deux représentera l'isolement total du réseau. Il est nécessaire de donner au voltmètre employé pour les mesures une résistance aussi grande que possible.

M. le Professeur Riccardo Arno a appliqué le principe de ses appareils à champ tournant à la construction d'instruments ayant pour but d'annoncer par le tintement d'une sonnerie un défaut d'isolement ou la présence d'une terre sur un réseau de distribution à courant triphasé de haute tension. Dans cet appareil, une série de segments cylindriques isolés en laiton sont disposés verticalement de manière à entourer deux cylindres ou tambours en papier paraffiné, tournant chacun autour d'un axe vertical. Ces segments sont au nombre de 6 ; deux d'entre eux sont placés de chaque côté des cylindres en dehors d'une ligne passant par leurs axes. Les quatre autres sont communs aux deux cylindres et sont fixés symétriquement deux à deux aux points où la distance entre ces tambours est minimum. Trois bornes relient l'instrument aux conducteurs du courant triphasé et une quatrième borne est mise à la terre. Des ressorts spiraux sont fixés aux tambours et aux axes qui portent également des index ; ceux-ci ne peuvent tourner dans un autre sens que celui qui a été prévu, grâce à des butées disposées à cet effet. S'il se produit un défaut d'isolement, l'un des cylindres n'est plus soumis à l'action du couple qui produit le champ tournant, et l'index vient se mettre en contact avec une pièce fixe, ce qui provoque la fermeture d'un circuit dans lequel se trouve une pile et une sonnerie. Lors du tintement de la sonnerie, on peut connaître, d'après la position des index, le conducteur sur lequel se trouve le défaut.

M. Riccardo Arno expose également un appareil du même genre, à trois systèmes de segments cylindriques agissant sur trois tambours en papier paraffiné, disposé pour indiquer l'état de l'isolement entre les enroulements primaire et secondaire d'un transformateur pour courant triphasé.

Beaucoup de constructeurs établissent aujourd'hui des appareils portatifs pour la mesure des résistances et des isolements, car ce sont surtout ces mesures qu'il y a intérêt à faire fréquemment dans les installations en dehors des usines de production d'énergie.

MM. Chauvin et Arnoux ont ainsi créé un modèle de caisse pour les mesures de résistances électriques permettant d'effectuer avec un galvanomètre à réflexion des mesures précises. Cette caisse permet, en outre, la mesure des différences de potentiel et celle des intensités à l'aide de shunts interchangeables. La partie inférieure contient un pont de Wheastone à décades, un pont double de Thomson, des clefs de contact et un réducteur de sensibilité pour le galvanomètre. Celui-ci est placé dans le couvercle de la boîte, et se trouve en position pour les mesures au miroir et à l'échelle quand le couvercle est levé verticalement.

En Allemagne, M. Edelmann et l'*Allgemeine E. G.* présentent des appareils portatifs

analogues. MM. Siemens et Halske et Hartmann et Braun exposent des voitures renfermant de véritables laboratoires mobiles.

La maison White en Angleterre et l'*American Electrical Speciality* aux États-Unis construisent également des appareils portatifs pour la mesure des résistances et des isolements.

EMPLOI DES RÉSISTANCES POUR LA DÉTERMINATION DE L'INTENSITÉ.

La mesure de l'intensité au moyen de résistances connues est souvent pratiquée. Ce procédé est connu sous le nom de *Méthode par la chute de tension.*

Avec une résistance bien étalonnée et un étalon de force électromotrice connue, on arrive à des résultats aussi exacts qu'avec des étalons d'intensité quand il s'agit de faibles valeurs. Pour les grandes intensités, la méthode est excellente, car on n'a pas à craindre l'influence électromagnétique des conducteurs qui amènent le courant, et, de plus, on évite de détourner les conducteurs d'énergie, souvent très forts, pour les faire passer par l'appareil de mesure.

Les résistances étalonnées ou *shunts* sont constituées par des barres, des bandes ou des grilles de maillechort, de manganin ou de constantan ou d'un métal présentant une résistivité peu variable avec la température. En général, ces résistances sont disposées de manière à ce qu'elles se refroidissent dans l'air; dans certains cas, cependant, on emploie un procédé artificiel.

La maison Carpentier construit des shunts à circulation d'eau, formés d'un tube de maillechort terminé à ses extrémités par des raccords qui permettent de les mettre en communication, au moyen de tubes en caoutchouc, avec une canalisation d'eau. Deux anneaux munis de bornes de prise de courant sont soudés sur ce tube de façon que la résistance entre les deux soit de 0,001 ou de 0,0001 ohm pour 1.000 ou 2.000 ampères. Le courant qui arrive au tube par les bornes est mesuré en déterminant la chute de tension entre les anneaux. La tension, multipliée par 1.000, donne l'intensité du courant en ampères.

Les shunts de la maison Chauvin et Arnoux sont constitués par des lames de maillechort superposées et séparées les unes des autres par un vide égal à leur épaisseur. Ces lames sont soudées à leurs extrémités dans des pièces de bronze auxquelles sont fixées des mâchoires permettant d'intercaler l'appareil dans le circuit. Les prises de courant se font au moyen de chevilles coniques entrant dans des trous percés dans les pièces de bronze. Ces appareils sont étalonnés avec le plus grand soin et ont une résistance telle que la chute de tension pour le courant maximum ne dépasse pas 0,04 volt.

MM. Fabius Henrion et J. Richard construisent également des résistances étalonnées en maillechort constituant des shunts.

Les shunts de l'*Allgemeine E. G.* sont composés de barres de maillechort superposées et encastrées dans des pièces de cuivre portant les prises de courant. Le galvanomètre est relié au shunt par des fils souples ou des fils enroulés en boudins. Cette maison construit des shunts pouvant aller jusqu'à 8.000 ampères.

Les maisons Hartmann et Braun, Siémens et Halske, le Dr Horn en Allemagne, J. White et Crompton en Angleterre exposent des résistances de ce genre, soit en maillechort, soit en manganin, dans lesquelles les lames ou les plaques sont séparées les unes des autres afin de faciliter le refroidissement par l'air ambiant.

MESURE DES CAPACITÉS.

CONDENSATEURS. — ÉTALONS DE SELF-INDUCTION.

Dans beaucoup de cas, il est utile de connaître la capacité d'un condensateur, d'un câble, par exemple; il est, par suite, nécessaire d'avoir un étalon de capacité permettant la mesure par une simple comparaison.

La maison Carpentier expose des condensateurs dans lesquels le diélectrique est en papier paraffiné pour les modèles ordinaires, et en mica pour les appareils de précision. Dans ce dernier cas, les armatures sont formées par un dépôt d'argent fait sur les lames de mica par le procédé employé pour l'argenture des miroirs. Nous trouvons 4 modèles de condensateur de service en papier pour un micro-farad, 1 micro-farad divisé en 4 sections, 2 micro-farads divisés en 5 sections et 5 micro-farads divisés en 4 sections; deux types de condensateurs de précision en mica de $\frac{1}{2}$ micro-farad et de 1 micro-farad divisé en 4 sections; enfin, un condensateur en mica argenté de $\frac{1}{2}$ micro-farad dans lequel l'argenture qui recouvre les feuilles de mica forme l'armature.

MM. Keiser et Schmidt emploient comme diélectrique du papier chimiquement pur imprégné d'une matière isolante spéciale, qui donne au condensateur des propriétés analogues à celles des condensateurs en mica au point de vue de la charge résiduelle.

MM. Siemens et Halske exposent des condensateurs du même genre.

Les étalons de *self-induction* sont en petit nombre à l'Exposition. La maison Carpentier en présente deux modèles : l'un de 1 Henry, l'autre de 0,1 Henry.

La maison Ganz, de Budapest, expose un étalon de self à enroulement bifilaire et section rectangulaire étudié par les professeurs Hoor et Fröhlich. Cet appareil se compose d'un anneau de marbre de section rectangulaire de dimensions géométriques calculées, sur lequel sont uniformément enroulés deux fils isolés à la soie. Les quatre extrémités des deux solénoïdes ainsi formés sont reliées à quatre bornes disposées sur un plateau en ébonite servant de socle à l'instrument. Le coefficient de self-induction est calculé en partant des dimensions de l'anneau et du nombre de spires. Le coefficient de self-induction des deux solénoïdes montés en série est de $0,0998 \times 10^9$ Henry.

L'appareil est placé dans une boîte en chêne, de manière à présenter un démontage facile.

IV. — MESURE DE LA PUISSANCE.

La mesure de la puissance développée dans un circuit est devenue une opération courante. Lorsqu'on emploie des courants continus, la lecture faite sur un ampèremètre et celle faite sur un voltmètre donnent le résultat cherché en watts. Mais on

préfère, en général, obtenir ce résultat par une simple lecture sur un appareil unique. Tous les wattmètres étalonnés sont basés sur le principe des électro-dynamomètres et peuvent être utilisés pour les courants alternatifs. La bobine fixe est parcourue par le courant total et la bobine mobile par une dérivation proportionnelle à la différence de potentiel aux bornes.

Les constructeurs ont surtout cherché, dans la construction de ces instruments, à rendre négligeables les effets d'induction propres des enroulements. Afin d'atténuer autant que possible les effets de self-induction, on place en série avec le cadre mobile une forte résistance sans induction.

Nous ne nous occuperons pas des compteurs d'électricité qui sont des wattmètres et qui figurent en grand nombre à l'Exposition, ces appareils étant examinés par le Jury de la Classe 25.

La maison Carpentier expose un *wattmètre à miroir* à amortisseur magnétique permettant de faire des mesures extrêmement précises; un *wattmètre portatif à torsion* pour 300 ampères et 150 volts, destiné principalement à la vérification des compteurs, enfin, un *wattmètre à lecture directe,* modèle portatif renfermé dans une boîte.

M. Ducretet présente un wattmètre universel étudié par MM. Blondel et Labour. Dans cet appareil, deux disques en ébonite, dont l'un placé à la partie supérieure porte un cadran divisé en 360 degrés, et dont l'autre sert de base à l'appareil, sont réunis par quatre colonnes de cuivre servant de conducteurs pour la circulation du courant depuis les bornes jusqu'aux bobines fixes. Celles-ci sont bobinées sur des carcasses de buis de forme rectangulaire munies, à leur base inférieure, de deux équerres en bronze reliées aux extrémités du fil. Les bobines sont facilement démontables, ce qui permet de les remplacer suivant le cas. Le cadre mobile, en fil fin, est suspendu par un ressort à boudin portant à la partie supérieure une tête qui porte l'aiguille mobile devant le cadran divisé du disque supérieur. Il est placé dans le champ formé par les bobines fixes. Sur ce cadre est fixé un index permettant d'apprécier si la position, qu'il doit occuper quand l'équilibre des couples est obtenu, est bien normale. Un miroir placé sur l'axe de rotation du cadre contrôle également cette constatation. A sa partie inférieure, le cadre porte un cylindre de cuivre placé entre les extrémités polaires d'un aimant permanent, ce qui donne un amortissement aux oscillations. Les bobines fixes peuvent supporter un courant de 2.500 ampères; le cadre mobile, 100 volts.

Quand la tension est plus élevée, elle peut être ramenée à 100 volts au moyen d'un transformateur réducteur.

La même maison expose un modèle de petit wattmètre pour courants ne dépassant pas 10 ampères et 35 volts. La lecture se fait directement en watts sur le cadran inférieur et par torsion sur le cadran supérieur.

M. J. Richard construit des *wattmètres enregistreurs* composés de deux bobines plates fixes horizontales, placées l'une au-dessus de l'autre et formées d'un ruban de section convenable pour supporter le courant principal. Ces bobines sont couplées en série ou en quantité, et les extrémités de leurs enroulements sont fixées à des mâchoires destinées

à les relier au circuit. Au milieu de ces bobines est placée une autre bobine en fil fin qui est branchée, par l'intermédiaire d'une résistance, en dérivation sur le circuit. Cette bobine, dont l'axe horizontal porte la plume, est mobile sur couteaux. Sous l'influence du flux produit par le courant dans les bobines, la bobine mobile tend à s'incliner proportionnellement à la puissance. Le couple résistant est la pesanteur agissant sur un contrepoids, et l'amortissement des oscillations est obtenu par un amortisseur électromagnétique constitué par un disque en aluminium calé sur l'axe de la bobine mobile et se déplaçant entre les pôles de quatre aimants permanents. Les wattmètres pour courants alternatifs sont munis d'une résistance additionnelle non inductive. Ils doivent être étalonnés pour une fréquence déterminée.

Le wattmètre à lecture directe de MM. Hartmann et Braun est analogue à l'électrodynamomètre construit par cette maison. Une bobine plate fixe dont l'axe est incliné sur la verticale est traversée par le courant principal. Les deux bobines mobiles, de très petite dimension, sont montées aux extrémités d'un bras horizontal, mobile autour d'un axe vertical. Un fil de suspension et un ressort spiral en bronze phosphoreux amènent le courant à ces bobines en fournissant le couple résistant. L'amortissement est obtenu par le déplacement d'une palette d'aluminium dans un cylindre à air. Lorsque le courant passe, les bobines mobiles tendent à se rapprocher de la bobine fixe, et une aiguille qui se meut devant un cadran divisé, permet d'apprécier la déviation produite. L'inclinaison de l'axe de la bobine fixe a pour objet de rendre les déviations à peu près proportionnelles aux puissances.

La maison Siemens et Halske expose des wattmètres avec bobines fixes et cadre mobile, avec bobines de résistance placées en série avec le cadre. Le fil est enroulé sur des plaques de mica aussi minces que possible; la self-induction est donc pour ainsi dire nulle. Ces plaques sont disposées dans une boîte laissant entres elles un espace de 7 à 8 millimètres de manière à assurer le refroidissement. L'amortissement est obtenu, comme dans les appareils électro-magnétiques construits par cette maison, par le mouvement d'un petit piston dans un tore.

Les wattmètres de l'*Allgemeine E. G.* sont très analogues aux voltmètres construits par cette société. Le cadre mobile se trouve à l'intérieur de la bobine fixe, et l'axe du cadre mobile porte l'aiguille et une plaque d'aluminium en forme de 8 dont les bords externes se meuvent entre les pôles des deux aimants amortisseurs. La bobine fixe est placée entre deux pièces de tôle assemblées, qui ont pour but de capter les lignes de force engendrées par le cadre mobile et de mettre les aimants à l'abri de leur influence. Dans cet appareil, le cadre mobile reçoit le courant dérivé, et la bobine fixe le courant principal. Des ressorts spiraux fixés sur l'axe du cadre lui amènent le courant. La bobine fixe porte deux enroulements aboutissant à quatre bornes, ce qui permet de les mettre en série ou en parallèle et d'avoir deux échelles pour les intensités.

La maison Ganz expose une série de wattmètres de même type mais destinés à des mesures variables. La bobine mobile, enroulée avec du fil d'aluminium afin d'en réduire le poids, tourne sur de petits tourillons en acier dans des saphirs. La prise de

IMPRIMERIE NATIONALE.

courant se fait au moyen de deux bandes minces d'argent. Les indications données par la torsion du ressort doivent être multipliées par la résistance du circuit dérivé et par la constante de l'appareil pour obtenir la valeur de l'énergie consommée. Une boîte contenant des résistances en fil de manganin est adjointe à l'instrument; ces résistances sont intercalées dans le circuit du cadre mobile suivant la tension du courant à mesurer.

Dans le wattmètre de lord Kelvin construit par la maison J. White, le cadre mobile à fil fin est formé de deux bobines circulaires, enroulées en sens inverse; elles forment ainsi un système astatique porté par deux pivots; deux ressorts spiraux relient ce système au circuit et l'éloignent à 45 degrés environ du plan du circuit fixe, formé d'un gros fil de cuivre contourné en forme d'S de manière à envelopper les deux cercles du cadre mobile. Le courant principal passe par le gros fil, et le courant dérivé par les bobines à fil fin; sous l'influence de ces courants ces dernières sont déviées et un index se déplaçant devant un cadran divisé et gradué empiriquement, donne la puissance cherchée.

M. le professeur Riccardo Arno, présente un wattmètre basé sur le même principe que l'électro-dynamomètre décrit précédemment et disposé pour donner la mesure de la puissance.

WATTMÈTRES D'INDUCTION.

Les wattmètres d'induction sont exposés dans la section allemande.

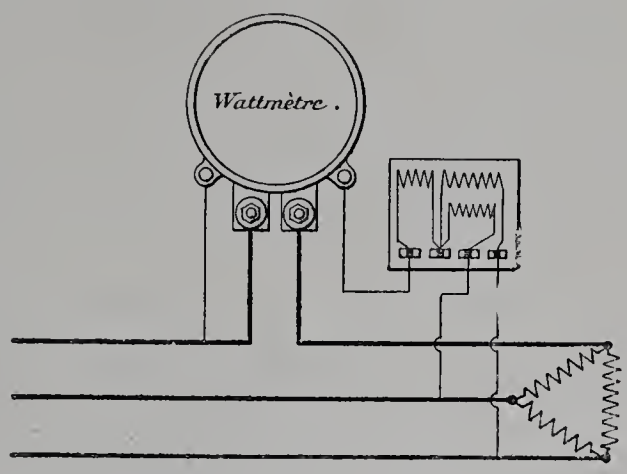
Les appareils présentés par l'*Allgemeine E. G.* dérivent des voltmètres et ampèremètres d'induction construits par cette société. On fait agir sur le même disque une bobine centrale excitée par le courant total, et deux autres bobines, disposées symétriquement à la première, sont placées en dérivation sur le circuit. Il y a un écran conducteur sous chacune des dernières bobines et il n'y en a pas sous la première. L'amortissement est obtenu par l'action d'un aimant permanent embrasasnt le bord du disque. Cette société expose également des wattmètres enregistreurs de ce système.

Les wattmètres de la maison Hartmann et Braun sont construits sur le même principe. Un tambour en aluminium tourne dans l'entrefer cylindrique d'un électro-aimant lamellé et est mis en mouvement par les champs magnétiques, décalés entre eux de 90 degrés, d'une bobine principale et de deux bobines dérivées. Un freinage magnétique constant est réalisé par l'action d'aimants permanents sur un disque en aluminium calé sur l'axe du tambour. L'appareil est disposé pour donner l'enregistrement sur un cylindre à axe vertical.

La maison Siemens et Halske emploie également un tambour, mais les électros séparés sont remplacés par les quatre projections polaires d'un anneau de fer laminé, comme dans les ampèremètres et voltmètres d'induction construits par cette maison. Les bobines qui entourent les pôles sont groupées deux par deux et reçoivent, les unes le courant total, les autres le courant dérivé.

Les wattmètres à induction sont en général munis de transformateurs pour les in-

tensités supérieures à 300 ampères. Pour les voltages au delà de 550 volts, on ajoute une bobine de self spéciale, ou un transformateur réducteur de tension ainsi que le pratique l'*Allgemeine E. G.* De cette manière, le wattmètre ne reçoit pas de courant à trop haute tension. Plusieurs constructeurs exposent des wattmètres construits spécialement pour courants triphasés, dont l'emploi est aujourd'hui très fréquent. Nous citerons M. J. Richard en France, MM. Siemens et Halske et l'*Allgemeine E. G.* en Allemagne, où l'on emploie fréquemment un montage spécial qui consiste à créer un point neutre fictif au moyen de trois résistances égales, l'une d'elles renfermant le cadre mobile du wattmètre. De la sorte, quand les charges sont égales sur les trois conducteurs, on obtient un bon résultat avec un seul instrument.



La maison White en Angleterre et M. Riccardo Arno en Italie, présentent également des wattmètres construits spécialement pour l'emploi des courants triphasés.

V. — POTENTIOMÈTRES.

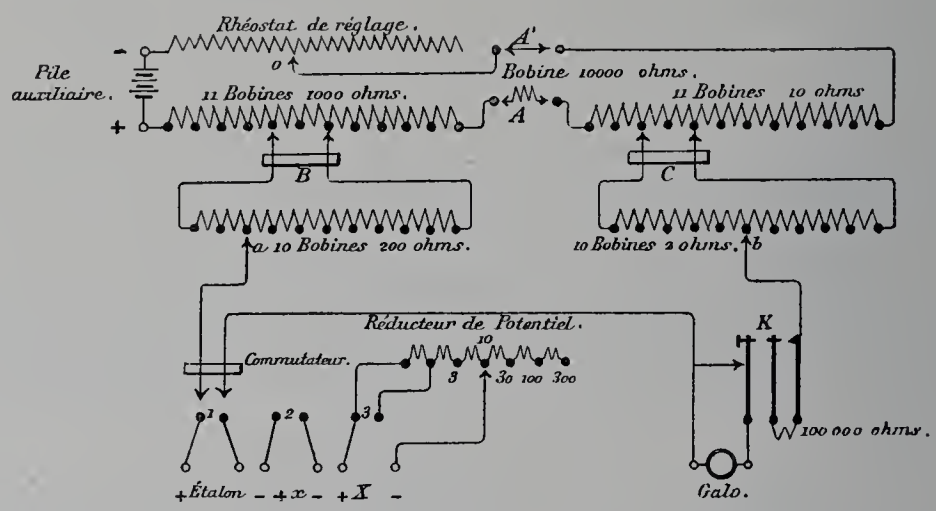
Les potentiomètres, dont l'emploi tend à se développer dans l'industrie électrique, constituent à eux seuls un laboratoire complet pour courants continus. Le maniement en est commode et leurs organes sont pour ainsi dire indéréglables avec le temps, ce qui permet d'obtenir des résultats d'une grande précision. Ils peuvent servir à étalonner les ampèremètres, les voltmètres, les wattmètres et à mesurer les résistances ohmiques. Ces appareils reposent sur la méthode de Clark pour la détermination des forces électromotrices, méthode qui elle-même est considérée comme une modification de celle de Poggendorff. M. Crompton de Londres est le premier qui ait établi un instrument de ce genre pour l'usage industriel: ses recherches à ce sujet, faites en collaboration avec le professeur Fleeming, datent de 1883. L'appareil qu'il construisit à cette époque présentait certains inconvénients, et il adopta un dispositif préconisé par M. Chaperon, qui en France s'était occupé particulièrement de cette question.

En principe, le potentiomètre est destiné à comparer deux forces électromotrices par la méthode d'opposition; cette comparaison se fait au moyen des différences de potentiel, à volonté croissantes ou décroissantes, que l'on oppose à la différence de potentiel inconnue par tâtonnements jusqu'à ce qu'un galvanomètre intercalé dans le circuit arrive à sa position d'équilibre. Afin de simplifier les opérations, on commence par faire une expérience au moyen d'un étalon de force électromotrice connue, de manière à n'avoir qu'à lire ensuite des chiffres simples tels que 1, 0, 1 ou 0,001, etc., c'est ce que l'on appelle le calibrage ou le tarage du potentiomètre. A l'appareil son

adjoints des fils calibrés, des rhéostats, des curseurs, et des clefs permettant d'obtenir toutes les combinaisons nécessaires aux mesures à effectuer.

Beaucoup de constructeurs français et étrangers établissent actuellement des appareils de ce genre, qui sont dénommés en Allemagne appareils de compensation.

M. Carpentier expose le premier potentiomètre étudié par lui et construit dans ses ateliers. Cet appareil est caractérisé par le petit nombre relatif des bobines entrant dans sa construction, et par la manière pratique dont sont disposés les différents organes. Il permet de mesurer exactement des différences de potentiel comprises entre 0,0001 et 600 volts.



Le circuit potentiométrique se compose d'un rhéostat de réglage R, d'une série de 11 bobines de 1.000 ohms, d'une série de 11 bobines de 10 ohms et d'une bobine de 10.000 ohms, qu'un commutateur permet d'intercaler en A ou en A'. Les deux séries de résistances sont disposées comme dans le pont de Varley. Un curseur B muni de deux contacts glissants, formant commutateur bipolaire, permet d'intercaler un second groupe de 10 bobines de 200 ohms en dérivation sur deux bobines consécutives quelconques de la série de 11 bobines de 1.000 ohms. La résistance totale est ainsi toujours constante et égale à 10.000 ohms et le curseur *a* permet de la subdiviser en fractions de 100 ohms. De même un commutateur bipolaire C permet d'intercaler un groupe de 10 bobines de 2 ohms en dérivation sur deux bobines de la seconde série de 11 bobines de 10 ohms. La résistance totale est ainsi ramenée à 100 ohms et au moyen du curseur on peut la subdiviser en ohms. Le commutateur agissant sur A ou A' donne une variation de 10.000 ohms entre les points *a* et *b*. Le curseur B fait varier cette résistance par 1.000 ohms; le curseur *a* agit sur les centaines d'ohms; le curseur C sur les dizaines et le curseur *b* sur les unités.

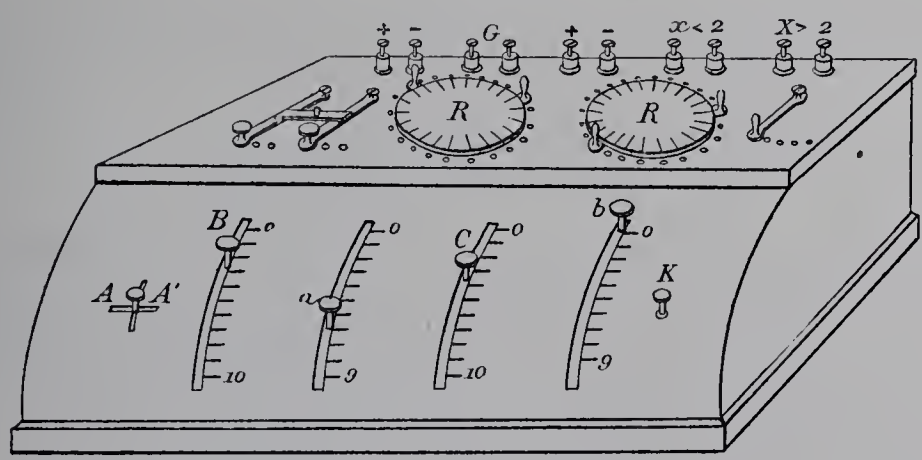
On établit, à l'aide d'une pile auxiliaire de 2 à 4 volts, un courant que l'on règle à 0,0001 ampère au moyen du curseur *o* agissant sur le rhéostat de réglage qui est complètement distinct des résistances du potentiomètre. Cette opération est le tarage de l'appareil. On place la pile-étalon dans le circuit du galvanomètre en ayant soin de mettre les pôles de la pile aux plots indiqués; cette pile est en général un élément

Latimer-Clark dont la force électro-motrice est de 1, 434. Le commutateur est placé en A′ et les curseurs B, *a*, C, *b* sur les plots 4, 3, 4, 0 des groupes de bobines. On manœuvre ensuite le curseur *o* du rhéostat jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre revienne au zéro quand on appuie sur la clef correspondante. A ce moment la pile auxiliaire débite 0,0001 ampère et la différence de potentiel aux bornes de chaque ohm est de 0,0001 volt.

Les curseurs sont rangés dans l'ordre B, *a*, C, *b* de manière à indiquer, dans le sens de la lecture, la valeur de la résistance intercalée entre *a* et *b* et ,par suite, la différence de potentiel entre ces points.

Cette opération faite, et sans toucher au rhéostat de réglage, on n'a qu'à substituer à l'étalon une pile, dont la tension soit inférieure à 2 volts, pour mesurer la force électromotrice. On agit sur les curseurs de manière à ramener à zéro l'aiguille du galvanomètre et on multiplie par 0,0001 les résistances indiquées. Si l'on a à mesurer des tensions supérieures à 2 volts, on emploie un réducteur de tension qui abaisse celle-ci au point voulu.

Un commutateur double à 3 directions permet de placer dans le circuit soit l'étalon, soit une différence de potentiel x inférieure à 2 volts, soit une fraction de la différence de potentiel X à mesurer. Le réducteur de tension a des pouvoirs multiplicateurs de 3 à 300 avec une résistance totale de 300.000 ohms.



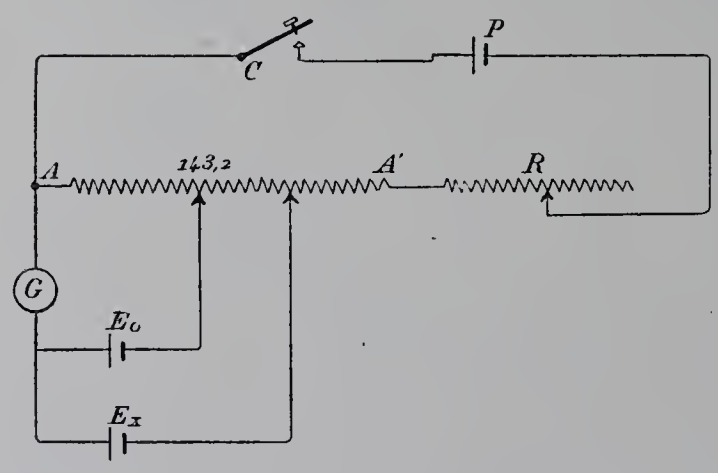
Le galvanomètre est en court circuit quand la clef de manœuvre est relevée; quand celle-ci est abaissée, le circuit est fermé à travers une résistance de protection de 100.000 ohms; ce n'est que quand on appuie en dernier lieu, que cette résistance est elle-même mise en court circuit.

L'appareil présente extérieurement la forme d'un ancien bureau à cylindre : à la partie supérieure sont groupés, sur une tablette en ébonite, les manettes du rhéostat, les bornes des circuits extérieurs, le réducteur de tension et le commutateur bipolaire. Sur la partie cylindrique et perpendiculairement à l'axe du cylindre sont des rainures par lesquelles passent les boutons manœuvrant le commutateur A, A′, les curseurs B, *a*, C, *b*, et la clef K du galvanomètre.

La maison Bréguet expose un potentiomètre étudié par M. Carranza, officier de la

marine espagnole, et qui est une modification de l'appareil étudié autrefois par Clark. Dans cet appareil, le fil potentiométrique d'un diamètre de 0,35 millimètre, est enroulé une fois pour toutes sur un cylindre isolant. Celui-ci comporte une rainure hélicoïdale dans laquelle le fil est partiellement encastré. Parallèlement à l'axe du cylindre est une vis micrométrique, de même pas que l'hélice, et reliée, au moyen d'engrenages appropriés, au cylindre qui, par suite, se meut à la même vitesse. Sur la vis sont disposés un écrou muni de guides de translation et un contact à ressort, qui peut parcourir le cylindre suivant une génératrice et toucher le fil en un point quelconque de son enroulement. L'écrou est également muni d'un système de pinces au moyen desquelles on peut embrayer ou débrayer le contact pour des déplacements rapides. Devant le fil est une règle divisée, dont les divisions correspondent au nombre de spires du fil enroulé sur le cylindre; de plus, l'axe de celui-ci porte à l'une de ses extrémités une aiguille qui se déplace devant un cadran et qui indique les portions de spire. Enfin, au contact est annexé un ressort spécial, qui permet de ne transmettre qu'une fraction de l'effort exercé sur le bouton de contact; on évite ainsi d'écraser le fil calibré sous un effort trop considérable. Cet ensemble est complété par des connexions aboutissant à une série de bornes sur lesquelles sont inscrites toutes les indications nécessaires, de manière à opérer sûrement les groupements dont on a besoin pour les mesures à effectuer.

L'opération du calibrage se fait au moyen d'un accumulateur P débitant un courant d'environ 2 volts sur le fil calibré du potentiomètre A A', qui est monté en série, pour rendre les lectures plus faciles, avec une résistance variable de 100 ohms environ. Cette résistance sert d'appoint pour permettre que le nombre lu sur la règle divisée soit une reproduction de la valeur cherchée multipliée par une puissance de 10 positive ou négative, ou un multiple exact de la valeur à mesurer. Un galvanomètre sensible G, un élément Latimer-Clark E_0 et une clef C complètent l'installation. Si la pile-étalon donne une force électromotrice de 1,434 volt, après correction de la température, en mettant, au moyen du contact mobile, cet élément en opposition avec la différence de potentiel correspondant à 143,4 spires du cylindre, et en agissant sur la résistance additionnelle R jusqu'à ce qu'en abaissant la clef du galvanomètre, l'aiguille de ce dernier ne dévie pas, l'appareil est taré. Le fil potentiométrique comprend ainsi 10^2 fois la tension de l'étalon. On peut dès lors mesurer une différence de potentiel inconnue Ex, inférieure à 2 volts. Pour cela, sans toucher à la résistance additionnelle R, on enlève la pile-étalon, et l'on fait tourner le cylindre jusqu'à ce qu'en

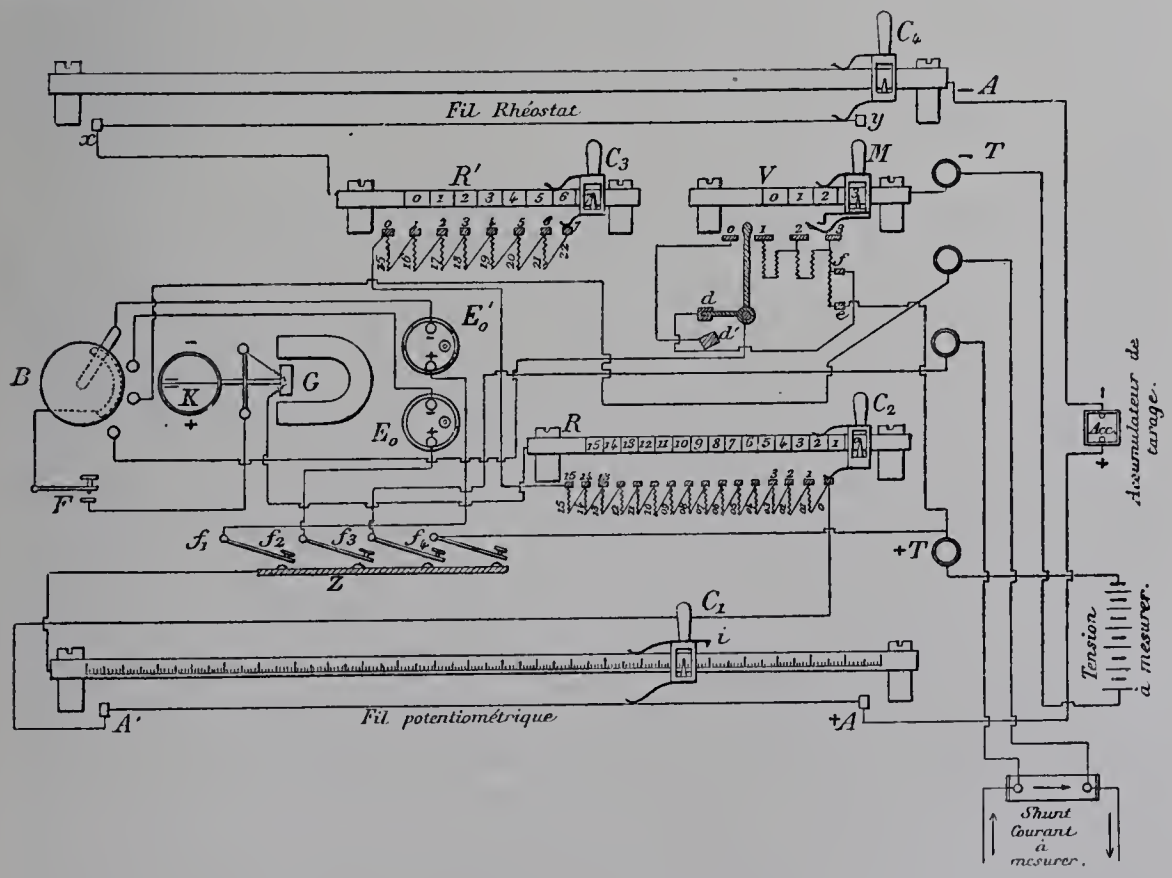


appuyant sur le bouton de l'écrou porte-contact, le galvanomètre reste au zéro. On lit alors le nombre de spires et de fractions de spire indiqué sur la règle et sur le cadran. Si la règle marque 120 spires et le cadran 0, 5 spires, la tension cherchée est $120{,}5 \times 10^{-2} = 1{,}205$ volt.

Pour les tensions supérieures à 2 volts, on intercale une résistance de 100.000 ohms, et on amène au potentiomètre en Ex une dérivation prise aux bornes des 1.000 premiers ohms de cette résistance. Il faut, bien entendu, la mesure effectuée, multiplier par 100 la tension trouvée.

Pour mesurer avec cet instrument les résistances et les isolements, on se sert de la méthode du pont de Wheastone. Le calibrage de l'appareil devient inutile.

MM. Chauvin et Arnoux présentent un potentiomètre portatif, construit en vue de mettre entre les mains des électriciens un appareil leur permettant de vérifier avec précision et sur place l'étalonnage des appareils de mesures électriques. Toutes les mesures sont basées, comme dans les appareils précédents, sur l'emploi comme étalons de résistances de shunts et de résistances établies en ohms légaux et comme étalon de force électromotrice de l'étalon Latimer-Clark muni d'un thermomètre. L'appareil est renfermé dans une boîte rectangulaire semblable à celle de l'ohmmètre construit par la même maison.



Le circuit potentiométrique comprend : Un fil calibré A A' de 0 m. 50 de longueur en acier nickel Guillaume, le long duquel se déplace un curseur C_1 mobile sur une règle divisée en 1000 parties. Une fois le calibrage effectué, l'ensemble de ces divisions

représente une tension de 0,1 volt. La règle porte une échelle de compensation en degrés centigrades devant la graduation de laquelle se déplace l'index i.

Un fil de même diamètre et de même matière que le précédent, divisé en quinze sections, chacune ayant la même résistance que celle du fil calibré et pouvant être reliée au moyen du curseur C_2 à la règle R.

Un groupe de sept résistances supplémentaires de même valeur que les précédentes et pouvant être reliées avec la règle R′ au moyen du curseur C_3.

Un fil rhéostat en acier nickel Guillaume et tendu sous une règle à curseur C_4.

Deux éléments Latimer-Clark E_0, E'_0.

Un galvanomètre apériodique, genre Deprez-d'Arsonval, G dont on observe l'aiguille mobile au moyen d'une forte loupe K, dont la clef est en F.

Un commutateur à plateau tournant et poussoir B permettant de relier au circuit du galvanomètre l'une des deux piles-étalons ou la source d'électricité dont on a à effectuer la mesure.

Pendant l'observation du galvanomètre, on appuie sur les clefs f_1, f_2, f_3 ou f_4 pour fermer les circuits des piles E_0 ou E'_0, ou les circuits extérieurs.

Une résistance étalonnée de 100.000 volts, divisée en trois sections, permet de mesurer les différences de potentiel supérieures à 1,5 volt; deux bornes + T, — T permettent de relier cette résistance à la source d'électricité à mesurer.

Enfin un petit accumulateur placé dans une boîte spéciale indépendante de celle de l'appareil, fournit à celui-ci le courant de 0,05 ampère qu'il est nécessaire d'avoir constant pendant la durée des mesures.

Le tarage du potentiomètre se fait comme dans les cas précédents.

Si dans une mesure de tension dans les conducteurs reliés aux bornes + T et — T le curseur M a été amené sur le plot 3, le curseur C_2 sur le plot 20, le curseur C_3 sur le plot 0 et, si l'on a lu sur la règle le chiffre 425, on écrira le nombre 2,0425 et l'on reculera la virgule de deux rangs vers la droite, le curseur M étant sur le plot 2, le chiffre 204,25 indiquera en volts la tension de la source d'électricité.

La mesure des intensités s'effectue en déterminant à l'aide du potentiomètre la valeur en volts de la différence du potentiel aux extrémités d'un shunt étalonné en ohms et parcouru par le courant à mesurer.

La mesure des résistances s'effectue par la comparaison des différences de potentiel existant aux extrémités de la résistance X et celles d'un shunt de résistance connue placé en série avec cette résistance parcourue par le même courant constant. Le rapport des résistances est, dans ce cas, égal au rapport des différences de potentiel.

Les constructeurs allemands exposent également des appareils de ce genre, dont la forme extérieure présente en général l'aspect d'une boîte rectangulaire sur le couvercle de laquelle sont disposés les bornes, les commutateurs et les appareils de résistances. Ceux-ci sont, en grande partie, disposés circulairement, et des manettes à contacts glissants permettent de faire varier les résistances à intercaler dans les circuits.

La maison Otto Wolf expose un potentiomètre de Feussner construit pour l'Institut

physico-impérial. Entre les bornes principales il y a toujours une résistance de 14.999,9 ohms, alors que la résistance comprise entre les points de dérivation peut prendre toutes les valeurs entre 0 et 15.000 ohms, entre autres celle du circuit dérivé comprenant la pile-étalon et le galvanomètre. Ce résultat est obtenu au moyen de cinq cadrans placés sur la table supérieure de l'appareil; le premier cadran renferme 14 bobines de 1.000 ohms, le second 9 bobines de 100 ohms; des contacts glissants permettent de relier un point quelconque de chaque série avec un arc de cuivre placé près de l'axe de rotation de la manette correspondante. Les deux arcs de cuivre peuvent être reliés à l'étalon ou à la force électromotrice à mesurer par la manœuvre d'un commutateur à manette. Entre les bobines de 1.000 ohms et les bobines de 100 ohms, trois autres groupes sont intercalés : deux séries de 9 bobines de 10 ohms, deux séries de 9 bobines de 1 ohm et deux séries de 9 bobines de 0,1 ohm. Une série de chaque groupe peut être intercalée entre les bobines de 1.000 ohms et celles de 100 ohms, tandis que l'autre série est intercalée entre les bornes principales extérieurement aux points de dérivation. Une seule manette commande les deux séries de chaque groupe, de telle sorte que la résistance d'une des séries augmente quand l'autre diminue. Par suite de cette disposition, la résistance aux bornes principales est constante. Une boîte de résistance à fiches annexée aux cadrans sert à la mesure des forces électromotrices supérieures à 1,5 volt. La manette qui sert de clef du galvanomètre glisse sur trois plots de manière à couper le circuit de dérivation, à fermer le circuit à travers une résistance de 100.000 ohms, et à fermer ce circuit sans résistance autre que celle de la dérivation.

La maison Hartmann et Braun présente également un potentiomètre dans lequel les rhéostats à manette permettent d'intercaler dans le circuit du galvanomètre la valeur de toute résistance jusqu'à 10.000 ohms, sans que la résistance totale de l'appareil varie.

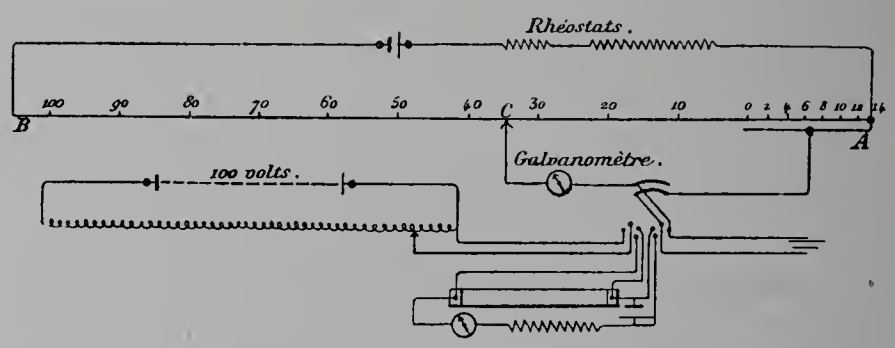
Le potentiomètre de MM. Siemens et Halske, étudié par le docteur Raps, renferme une disposition analogue au pont de Thomson Varley utilisée dans l'appareil de M. Carpentier. Une série de 10 bobines de 1.000 ohms est reliée à 11 plots de laiton disposés en arc de cercle. Une manette à contact glissant double, passant sur les plots, établit la communication entre l'un d'eux et l'arc de laiton voisin et entre le plot suivant et l'arc de laiton placé près de l'axe de rotation de la manette. Entre les deux arcs est intercalée une série de 9 bobines de 1.000 ohms reliées à 10 plots disposés sur l'autre moitié de la circonférence des premiers plots. Il y a ainsi toujours une des bobines de la première série qui porte en dérivation 9 bobines semblables, et il en résulte que la résistance entre les deux contacts de la manette est de 900 ohms. La série complète représente par suite 9.900 ohms. Une autre manette glissant sur les plots de la série des 9 bobines permet de la subdiviser en 9 parties, ce qui permet d'obtenir avec 19 bobines et 2 manettes 99 combinaisons de 2 valeurs dont la somme est constante et égale à 9.900 ohms. La division est complétée par un second système analogue composé de 10 et de 9 bobines de 10 ohms. Enfin, entre les deux groupes

est une série de bobines de 0,1 ohm, ce qui porte la somme totale des résistances comprises entre les bornes principales à 10.000 ohms. La pile auxiliaire se branche entre lesdites bornes. La pile-étalon est au sulfate de cadmium dont la force électromotrice est de 1,019 volt; elle est placée en dérivation sur l'une des trois résistances de 10.200, 1.020 ou 102 ohms installées sur la table de l'instrument.

Le courant débité par la pile auxiliaire peut ainsi être ramené à 0,0001, 0,001 ou 0,01 ampère.

Un rhéostat de 150.000 ohms permet de mesurer les tensions jusqu'à 1.500 volts.

La maison Crompton, qui a été la première à construire des appareils de ce genre, expose un potentiomètre étudié par le professeur Fleeming. Il se compose d'une série de 14 résistances ajustées au millième et ayant une valeur telle que la différence de potentiel aux bornes de chacune soit de 0,1 volt, quand elles sont soumises à une tension de 1,5 volt, et d'un fil calibré le long duquel se meut un curseur AB formant le fil potentiométrique; les résistances sont réparties de O en A.



Le fil potentiométrique est tendu au-dessus d'une graduation divisée en mille parties égales; la différence de potentiel entre chacune de ces parties est donc de 0,0001 volt.

Aux points A et B sont attachées les extrémités du circuit qui comprend la source de courant auxiliaire et les rhéostats de réglage. En un point C variable se trouve branché le circuit comprenant le galvanomètre G et la force électromotrice en opposition à mesurer. Un commutateur double à plusieurs directions permet d'intercaler en opposition dans le circuit du galvanomètre diverses forces électromotrices. On commence par intercaler celle de la pile-étalon qui produit le calibrage de l'appareil.

La pile-étalon est un élément Latimer-Clark.

Pour mesurer l'intensité d'un courant, on envoie celui-ci dans une résistance étalon de section appropriée et aux bornes de laquelle on mesure la chute de tension. Les bornes de la résistance sont, dans ce cas, reliées au potentiomètre à la place de la source d'électricité.

L'ensemble de l'appareil est disposé sur une table rectangulaire; à la partie antérieure, le plus près de l'opérateur se trouve le fil calibré et le curseur; en arrière, les rhéostats de réglage, le rhéostat comprenant les 14 bobines potentiométriques, un commutateur à quatre directions, la clef du galvanomètre et les bornes destinées aux diverses connexions à établir.

VI. — APPAREILS

POUR L'ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DU FER.

Dans l'étude des propriétés magnétiques du fer, il y a à envisager la mesure de l'induction $\mathfrak{B}$ en fonction du champ magnétique $\mathfrak{H}$, d'où l'on tire la valeur de la perméabilité μ. D'autre part, $\mathfrak{H}$ variant graduellement de $+\mathfrak{H}$ à $-\mathfrak{H}$ et ramené ensuite à $+\mathfrak{H}$, l'induction $\mathfrak{B}$ ne repasse pas par les mêmes valeurs quand $\mathfrak{H}$ croît ou décroît; il y a une perte d'énergie due à l'hystérésis.

Pour arriver à déterminer rapidement et pratiquement la mesure de la perméabilité magnétique des métaux et celle de l'hystérésis, plusieurs constructeurs ont établi des appareils nouveaux auxquels on a donné le nom de *Perméamètres* et d'*Hystérésimètres*.

M. J. Carpentier expose l'appareil d'Hopkinson avec lequel on emploie le procédé par arrachement et la méthode balistique et le perméamètre à arrachement de Thomson, qui constitue la méthode de la force portante, dans lequel un peson permet de connaître à chaque instant la valeur de la force entraînante.

Le perméamètre à torsion, d'un modèle nouveau, permet de mesurer rapidement la perméabilité des échantillons de fer. Il se compose d'un anneau de fer de grande section dans lequel l'échantillon à essayer, barreau cylindrique ou carré de dimension déterminée, est placé suivant un diamètre et enveloppé d'une bobine magnétisante. Cet anneau est coupé suivant un diamètre perpendiculaire au barreau par deux entrefers d'égale épaisseur; dans l'un est une cale en bronze, dans l'autre une aiguille aimantée suspendue par un fil de torsion. Cette aiguille est placée dans un bain d'huile, qui amortit ses oscillations. Quand un courant est envoyé dans la bobine magnétisante, le barreau s'aimante et le flux de force magnétique qui traverse l'entrefer tend à faire dévier l'aiguille aimantée; on ramène celle-ci à être perpendiculaire aux lignes de force en tordant le fil de suspension. Pour éliminer les perturbations dues à l'hystérésis, on fait deux lectures, le courant étant de sens inverse dans chaque opération. L'induction dans le barreau est proportionnelle à la torsion mesurée directement sur un cadran. La mesure consiste à ramener l'aiguille à sa position normale par une première torsion, à placer le zéro du cadran mobile au-dessous de l'index de torsion, puis à renverser le courant, à ramener l'aiguille au zéro et à lire la nouvelle torsion, qui indique la valeur de l'induction $\mathfrak{B}$. La force magnétisante n'est pas uniquement employée à aimanter l'échantillon, elle aimante aussi l'anneau; il faut dès lors faire une correction qui est constante pour chaque valeur de $\mathfrak{B}$. Pour cela, le bouton de torsion porte deux index et le cadran mobile deux graduations, de sorte que l'un des index donne $\mathfrak{B}$ et l'autre la valeur de la correction à lui faire subir. L'appareil est complété par une boîte de résistances munie d'un ampèremètre et d'un inverseur. L'ampèremètre est gradué en gauss de sorte que la force magnétisante se mesure par la lecture de la torsion $\mathfrak{F}$ diminuée de la correction $\mathfrak{C}$. La perméabilité a donc pour valeur $\mu = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{F} - \mathfrak{C}}$.

Le perméamètre de MM. Hartmann et Braun est basé sur l'emploi de la spirale de bismuth du professeur Brüger. Un cadre en fer de grande section et de forme presque rectangulaire reçoit le barreau à essayer. Celui-ci se compose de deux barreaux cylindriques égaux. Ces deux parties sont introduites dans des trous de même diamètre ménagés dans les côtés opposés du cadre en fer, et ils sont maintenus en place par des ressorts qui forcent les deux extrémités, au centre du cadre, à s'appuyer contre les deux faces d'une spirale de bismuth intercalée entre eux. Une bobine magnétisante enveloppe les barreaux ainsi que la spirale. Le circuit magnétique est donc composé d'un entrefer dont la longueur constante est égale à l'épaisseur de 1 millimètre de la spirale de bismuth, des deux portions de l'échantillon comprises entre les faces internes du cadre et la spirale et, enfin, du cadre. Quand la bobine magnétisante est excitée, le flux traverse la spirale dont la résistance varie; la variation relative de cette résistance donne la valeur de l'induction magnétique à laquelle est soumis l'échantillon de fer. Comme une correction doit être faite pour tenir compte de la réluctance de l'entrefer et de celle du cadre, une courbe de correction tracée expérimentalement est annexée à l'appareil. L'appareil complet comporte un galvanomètre et une clef pour le courant magnétisant, un galvanomètre et une clef à deux contacts pour le pont de Wheastone, enfin le pont qui comprend une résistance égale à celle de la spirale de bismuth, une résistance de comparaison de 1 ohm et deux ponts à fils destinés l'un à la correction de la température, l'autre à la mesure de la variation de résistance.

Pour faire la mesure, l'échantillon étant mis en place, on ferme l'interrupteur et on lit sur l'ampèremètre l'intensité du courant magnétisant. On ramène le galvanomètre au zéro et la valeur du déplacement indique la variation de résistance de la spirale de bismuth et par suite la valeur de $\mathfrak{B}$.

La maison Siemens et Halske expose une balance magnétique de du Bois, étudiée pour le même objet.

Dans cet appareil on utilise les attractions magnétiques pour la mesure de l'induction. La bobine magnétisante est placée horizontalement entre deux blocs d'acier fixes verticaux; elle reçoit le fer à essayer dont la section est circulaire ou carrée. Au-dessus se trouve une armature en acier montée en fléau de balance, munie à sa partie inférieure de deux portées cylindriques très courtes, se plaçant en regard des faces horizontales des blocs fixes. Des butées empêchent le fléau et les blocs de venir au contact; il y a toujours entre eux un entrefer de 1 millimètre environ. Le fléau est disposé, comme celui d'une balance romaine, sur un couteau et équilibré par un contrepoids. Lorsque le courant à essayer passe dans la bobine magnétisante, les attractions égales des deux côtés déterminent des moments inégaux et le fléau s'incline du côté du plus grand bras de levier; on rétablit l'équilibre en déplaçant le contrepoids au moyen de curseurs glissant sur des règles graduées. On a ainsi la valeur de l'induction $\mathfrak{B}$, qui est proportionnelle à la racine carrée du déplacement du curseur.

Cet instrument est l'un des plus simples de ce genre, il n'exige que la force de quelques accumulateurs et un ampèremètre.

La même maison construit un autre appareil du docteur Hubert Kath, dans lequel l'échantillon, baguette cylindrique ou faisceau de tôle de section équivalente, est placé dans l'évidement d'un bloc de fer en fer à cheval et entouré de la bobine magnétisante, et on mesure le flux de force, créé dans le barreau, par la déviation imprimée à un cadre mobile placé dans une coupure du bloc de fer. On a, pour ainsi dire, un galvanomètre Deprez-d'Arsonval dont l'aimant est remplacé par le bloc de fer, embrassant le cadre dont les deux branches sont réunies par le barreau à étudier, et dans lequel le champ magnétique est variable. Quand le cadre mobile est traversé par un courant constant, sa déviation est proportionnelle au flux de force ou à l'induction magnétique dans le fer essayé. Un index fixé au cadre mobile se déplace devant un cadran gradué directement en valeurs de $\mathfrak{B}$. Les accessoires de l'appareil comprennent : une batterie de trois piles sèches et un rhéostat permettant de régler le courant dans le cadre mobile, ainsi qu'un rhéostat pour régler le courant magnétisant. Il faut, en outre, une batterie de 4 volts et un milliampèremètre pour fournir et mesurer le courant magnétisant.

L'emploi de cet appareil est des plus simples. On place l'échantillon à essayer dans le bloc de fer, on règle le courant du cadre mobile, on fait passer le courant magnétisant après l'avoir mesuré et on lit sur le cadran divisé la valeur de $\mathfrak{B}$ en gauss.

L'hystérésimètre Blondel-Carpentier a pour but de comparer les pertes par hystérésis d'un échantillon-type étudié par la méthode balistique à celles d'un échantillon quelconque.

Le fer à essayer est découpé en anneaux de 38 millimètres de diamètre intérieur et de 55 millimètres de diamètre extérieur. Ces anneaux sont empilés sur un support cylindrique de façon à former une épaisseur de 4 millimètres. Le support étant ensuite monté sur un arbre vertical, l'échantillon se trouve placé dans le champ d'un aimant en U. Des pièces polaires portées par l'aimant entourent l'anneau en laissant un entrefer de longueur suffisante pour assurer dans le fer une induction magnétique constante de 10.000 gauss environ. On fait tourner l'aimant autour d'un axe vertical au moyen d'une manivelle à axe horizontal et d'un renvoi par disque et galet. Pendant cette rotation, la dépense d'énergie occasionnée par l'hystérésis produit un couple qui tend à entraîner les disques en tôle dans le sens du mouvement, mais un ressort à boudin fixé à l'arbre vertical s'oppose à ce mouvement en ramenant les disques à leur position première; par la torsion de ce ressort on a la mesure de l'hystérésis. Un index fixé sur l'arbre et un cadran divisé permettent d'en effectuer la lecture.

L'aimantation changeant de sens constamment avec la position de l'aimant, c'est l'hystérésis tournante que l'on mesure, c'est-à-dire celle qui existe dans les induits des machines à courant continu.

VII. — APPAREILS SPÉCIAUX POUR COURANTS ALTERNATIFS.

Outre les mesures opérées couramment comme celles de la force électromotrice ou de l'intensité, il y a, pour les courants alternatifs, une question qui présente un sérieux intérêt, c'est la régularité de ces courants.

Un certain nombre d'appareils spéciaux ont été étudiés et construits pour en mesurer les éléments principaux : la *phase* et la *fréquence*.

Ces instruments sont construits presque exclusivement en Allemagne où les courants alternatifs ont des applications plus anciennes et plus nombreuses que dans les autres pays.

PHASEMÈTRES.

Le phasemètre de la maison Siemens et Halske se compose de deux bobines perpendiculaires entre elles, dont l'une reçoit le courant principal et l'autre une dérivation du circuit. Sous l'influence des deux champs alternatifs ainsi créés agissant sur deux directions perpendiculaires et, étant donné le décalage des courants, il se produit un champ tournant dont l'amplitude dépend de la différence de phase entre le courant et la tension. Au milieu des bobines est placé un disque métallique, portant sur son axe un ressort spiral antagoniste. Ce disque dévie de sa position normale d'un angle d'autant plus grand que le décalage est plus considérable. Un index, fixé sur l'axe, permet la lecture sur un cadran divisé.

MM Hartmann et Braun exposent un phasemètre qui indique sur un cadran gradué l'angle de phase φ. L'appareil est construit comme un wattmètre dans lequel le circuit des volts est remplacé par deux bobines enchevêtrées l'une dans l'autre et faisant entre elles un angle de 90 degrés. Elles sont portées par un axe vertical passant par les points où elles se croisent. Une dérivation du courant, après avoir passé par une résistance, pénètre dans les deux bobines, par l'intermédiaire d'une bobine de self, qui crée entre les deux courants une différence de phase d'un quart de période. Il se produit par suite un champ tournant. Lorsque la bobine fixe est parcourue par le courant total, le système mobile est orienté de façon que la composante du champ tournant, qui est en phase avec l'intensité totale, se place parallèlement au champ créé par la bobine fixe; mais cette composante, ayant une position variable suivant la valeur du décalage, le système mobile prend une position différente pour chaque valeur de l'angle de phase. Cette valeur est indiquée par un index sur un cadran divisé empiriquement. La graduation doit être faite pour chaque valeur de la fréquence.

L'*Allgemeine E. G.* construit un appareil de ce genre qui donne la valeur du courant déwatté, I sin φ, et qui est gradué en ampères, Le zéro se trouve au milieu de la graduation de façon que l'on peut apprécier s'il y a avance ou retard de phase. L'appareil est construit sur le même principe que celui du wattmètre d'induction, mais ici les

bobines de volts sont en phase avec la tension et, par suite, quand l'intensité et la tension sont en phases, le couple électro-dynamique est nul, et l'index de l'instrument est au zéro.

M. le Professeur Riccardo Arno expose un phasemètre des tangentes constitué par un électro-dynamomètre dont le circuit fixe est traversé par un courant alternatif, le circuit mobile étant traversé par le courant dont on veut évaluer la différence de phase par rapport au premier. Au milieu de ces bobines est un système de deux cadres mobiles perpendiculaires entre eux et fermés sur eux-mêmes; ces cadres ont même axe que les bobines de l'électro-dynamomètre et portent comme celles-ci un index se déplaçant sur un cadran divisé.

Pour se servir de l'appareil, on commence par faire passer dans les cadres de l'électro-dynamomètre les deux courants à observer, on ramène l'index du cadre mobile au zéro et on lit l'angle α dont l'index s'est déplacé sur le cadran divisé, puis on fixe le cadre mobile dans le plan perpendiculaire au cadre fixe et on fait passer les courants; l'instrument fonctionne alors comme appareil à champ tournant. On ramène au zéro l'index du cadre intérieur et on lit l'angle β dont il a fallu faire tourner cet index; le rapport $\frac{\beta}{\alpha}$ multiplié par une constante K, donne la tangente de l'angle représentant la différence de phase entre les deux courants étudiés.

FRÉQUENCEMÈTRES.

MM. Hartmann et Braun présentent deux appareils qui sont basés sur la résonance. Le premier est constitué par une boîte circulaire sur le pourtour de laquelle sont fixées 32 lames vibrantes disposées comme des anches d'instruments de musique. Ces anches sont réglées par demi-périodes de 40 à 56 périodes par seconde. Au centre de la boîte se trouve un axe vertical, qui porte à l'extrémité d'un bras horizontal un électro-aimant à fil fin. Une poignée, fixée à l'extrémité de l'axe en dehors de la boîte, permet de faire tourner celui-ci et d'amener l'électro-aimant au droit de chacune des lames vibrantes.

La distance entre ces lames et l'électro est d'ailleurs très réduite. Quand l'électro, placé en dérivation sur le courant à étudier, est excité, et qu'il passe devant une lame vibrante de même période, celle-ci entre en vibration et produit un son d'autant plus intense que les périodes sont plus semblables. On a donc qu'à faire tourner l'électro devant les lames jusqu'à ce que l'on perçoive un son distinct. Quand deux lames consécutives entrent en vibration, la fréquence est comprise entre les deux indications inscrites sur le cadran. Les indications sont données par un index fixé sur l'axe et se mouvant sur un cadran gradué par expérience.

Le second appareil présenté par MM. Hartmann et Braun renferme seulement deux lames vibrantes, l'une au-dessus, l'autre au-dessous de la fréquence normale. Les lames sont actionnées chacune par un électro. Quand la génératrice a une vitesse de régime normale, les lames sont au repos. Mais, dès que cette vitesse varie, l'une des deux

lames entre en vibration. On utilise les vibrations ainsi produites pour faire fonctionner des sonneries ou des lampes, qui indiquent ainsi par des signaux acoustiques ou optiques les modifications dans la vitesse des moteurs.

La maison Stieberitz, de Dresde, expose un fréquencemètre à diapason imaginé par M. le professeur Stockardt. Dans cet instrument, un diapason est disposé de façon que des pièces massives puissent se déplacer le long de ses branches larges et minces au moyen d'un bouton molletté. Ce bouton agit sur un fil qui fait mouvoir ces pièces en même temps, de manière que les deux branches du diapason aient toujours la même longueur. La période de vibration diminue quand les pièces massives se rapprochent de l'extrémité libre du diapason. L'appareil est entretenu électriquement par un électro-aimant traversé par le courant à étudier. Il entre en vibration quand sa période correspond à celle du courant; celle-ci se lit sur un cadran gradué empiriquement. L'instrument se place en dérivation sur le circuit comme un voltmètre.

APPAREILS ENREGISTREURS
DES COURBES DES COURANTS ALTERNATIFS.

La connaissance de la loi des courants en fonction du temps présente pour la construction des alternateurs et des transformateurs un intérêt considérable. On peut obtenir cette relation mathématiquement par les procédés étudiés par MM. Pupin et Blondel, mais l'application en est délicate, et l'on préfère obtenir la loi sous la forme d'une courbe. Celle-ci peut être obtenue par points comme dans la méthode du contact instantané de M. Joubert ou par un tracé continu, comme cela se produit pour les machines avec l'indicateur de Watt, au moyen de la méthode oscillographique que M. Blondel a été l'un des premiers à étudier.

C'est cette dernière méthode qui est la plus employée en raison de la rapidité et de la netteté des observations, dont l'enregistrement peut être conservé.

Les oscillographes se composent, en principe, d'un galvanomètre dans lequel la période d'oscillation du cadre est très courte et d'un analyseur comprenant un moteur synchrone.

Dans les rhéographes, il y a à considérer trois appareils distincts : le rhéographe proprement dit, le moteur synchrone et la table de compensation qui sert d'intermédiaire entre les courants à analyser et le galvanomètre. En outre, dans ces appareils, la durée d'oscillation du cadre est plus grande que la période des courants.

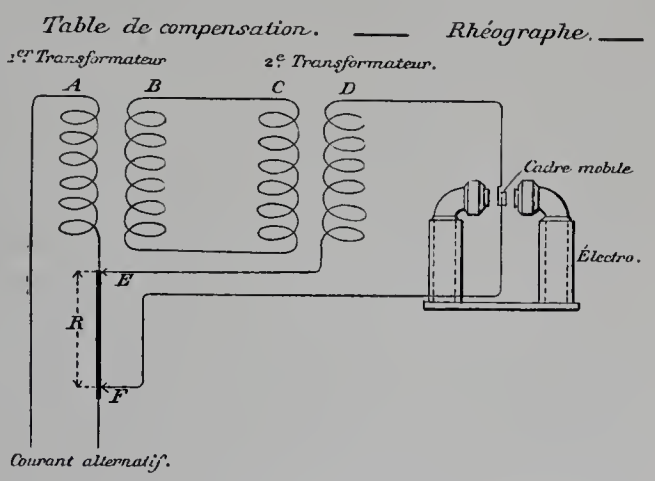
M. J. Carpentier expose un rhéographe de E. Abraham qui comprend les trois organes indiqués ci-dessus.

Le rhéographe proprement dit est un galvanomètre dont le cadre mobile, très réduit, se meut dans le champ intense d'un électro-aimant. Le cadre mobile a une très faible inertie, mais, comme le couple directeur est très petit, la période d'oscillation est très grande.

La table de compensation comprend une série de bobines agissant par induction

les unes sur les autres de manière à envoyer dans le cadre mobile du galvanomètre des courants transformés proportionnels au courant à étudier.

Ce courant secondaire est obtenu par deux inductions, ainsi qu'il est indiqué au schéma ci-contre. Le circuit principal A, qui reçoit le courant à étudier, est enroulé sur une grande bobine plate au-dessus de laquelle se trouve le premier circuit secondaire B. Le second transformateur est constitué par une bobine plate plus petite placée au centre de la première et pouvant prendre des inclinaisons diverses par rapport à celle-ci. Les enroulements C et D sont égaux. Afin de corriger les erreurs dues à l'amortissement du mouvement du cadre mobile et à la rigidité des fils de suspension, on envoie dans le cadre, outre le courant doublement transformé, un autre courant ayant subi une seule induction ainsi qu'une fraction du courant à mesurer. On arrive à ce résultat, d'une part, en utilisant l'action directe du circuit A sur le circuit D, action que l'on règle en faisant varier l'inclinaison du deuxième transformateur; d'autre part, en déplaçant les curseurs E et F mobiles sur une résistance R non inductive, qui limitent la fraction du courant principal à fournir. Le réglage de la compensation se fait empiriquement en observant la forme d'un courant périodiquement interrompu.



L'appareil d'observation se compose d'une chambre noire fermée par un châssis photographique ou un verre dépoli et d'un système de deux fentes : l'une verticale et fixe, l'autre perpendiculaire à la première et mobile; la combinaison de ces deux fentes donne un point lumineux. La deuxième fente est remplacée par une série de fentes tracées sur un disque tournant et ayant la forme de développantes. Un moteur synchrone alimenté par le courant à étudier fait tourner ce disque. La forme des fentes est telle que le point lumineux se déplace verticalement et proportionnellement au temps pendant la rotation du disque. Une lampe et une lentille placées derrière les deux fentes projettent un rayon lumineux sur un prisme qui le renvoie sur le miroir du cadre mobile du rhéographe. Le point lumineux qui était mobile verticalement est ainsi déplacé horizontalement suivant la valeur de l'intensité du courant, et l'on obtient ainsi sur le verre dépoli ou sur la plaque photographique la courbe du courant en fonction du temps. L'appareil exposé est double; il permet l'observation simultanée des deux courbes de force électromotrice et d'intensité avec leur forme et leur différence de phase réelles. Il y a deux rhéographes, deux tables de compensation, qui ne diffèrent que par les enroulements des bobines, et un seul appareil d'observation; le dédoublement est obtenu par deux systèmes de prisme, l'un au foyer lumineux, l'autre aux rhéographes.

La maison Stieberitz présente un oscillographe qui comprend un galvanomètre com-

IMPRIMERIE NATIONALE.

posé d'un fort aimant en fer à cheval à la partie supérieure duquel est placée la bobine; l'équipage mobile formé par une petite lame d'acier est au centre de cette bobine; sur la lame d'acier est fixé un très petit miroir. Une lampe à arc avec lentille fournit un point lumineux qui vient frapper le miroir et est réfléchi sur une feuille de papier sensible. Un moteur synchrone fait dérouler le papier. La courbe qui est enregistrée en deux secondes représente en moyenne 100 périodes consécutives.

L'appareil du professeur Hoor pour relever les courbes des courants alternatifs est exposé par la maison Ganz et est basé sur la méthode de M. Joubert. Il permet de relever les courbes de courants par points. Il consiste essentiellement en un anneau en bronze maintenu en rotation synchrone avec l'alternateur fournissant le courant à mesurer. Sur l'anneau est fixé un cylindre isolant portant des contacts; les balais de contact montés sur un support en forme de poulie folle peuvent être déplacés à la main et leur position exacte peut être relevée au moyen d'un index et d'une graduation.

L'angle entre l'index et la position zéro de l'échelle du support donne la position relative des balais. En marquant ces angles sur l'axe des abscisses, et les valeurs instantanées de l'intensité ou de la tension du courant alternatif prises à l'aide d'un condensateur et d'un galvanomètre sur l'axe des ordonnées, on obtient une série de points qui, réunis par un trait, donnent la courbe du courant. L'appareil se compose de deux systèmes semblables, ce qui permet de prendre à la fois la courbe de tension et celle du courant. L'appareil est de dimension très réduite, il peut être tenu à la main au moyen d'un manche en bois; son poids est de 3, 4 kilogrammes seulement.

L'oscillographe Duddel[1] construit par la *Cambridge scientific Instruments C^y* se compose de deux parties principales : le galvanomètre et le moteur synchrone. Le galvanomètre du genre *Deprez-d'Arsonval* est disposé de façon à ce que la déviation soit toujours proportionnelle à la valeur instantanée de l'intensité du courant. Il se compose d'un anneau de fer doux, en forme de tore, horizontal, supporté sur un socle muni de vis calantes. En un point l'anneau est interrompu de manière à former un entrefer dans lequel est placé le cadre du galvanomètre; sur l'anneau sont montées huit bobines magnétisantes distinctes qui reçoivent le courant d'une batterie d'accumulateurs. L'ensemble du système remplace l'aimant du galvanomètre. Les bobines sont couplées en série ou en quantité suivant la tension dont on dispose. Le cadre du galvanomètre est formé d'une bande de bronze phosphoreux mince et étroite qui, après avoir passé sur une poulie établie à une certaine distance au-dessus de l'entrefer de l'anneau, vient se fixer par ses deux extrémités à deux bornes placées au-dessous de cet anneau. La chape de la poulie est tendue de bas en haut au moyen d'un ressort de manière à exercer une tension égale sur chaque côté du cadre. Un dispositif spécial permet de faire varier la tension du ressort et par suite de modifier la durée d'oscillation propre du cadre. On limite, au moyen de chevalets, la partie du cadre susceptible d'osciller quand le courant

[1] M. Blondel avait, dès 1893, établi un oscillographe bifilaire. En 1897, M. Duddel le perfectionna en remplaçant les deux fils de cuivre par deux bandes de bronze phosphoreux fortement tendues. L'appareil de M. Blondel ne figurant pas à l'exposition, nous n'en avons pas donné la description.

est envoyé dans l'appareil. Un miroir très léger, fixé sur les deux bandes constituant le cadre, permet de mesurer l'amplitude des oscillations. Dans un appareil bien réglé la période d'oscillation est de 0,0001 seconde environ, négligeable par rapport à la fréquence des courants alternatifs usuels. De plus, avec la construction adoptée, la résistance du cadre et sa self-induction sont insignifiantes.

Il y a en général deux galvanomètres et deux miroirs pour relever simultanément les courbes d'intensité et de tension. L'appareil comprend, en outre, un amortisseur (huile ou vaseline).

Le moteur synchrone, qui constitue la deuxième partie de l'oscillographe, se compose de deux électro-aimants, excités séparement, entre les branches desquels tourne l'armature reliée au courant étudié. Sur l'axe de cette armature est fixé un écran placé devant un miroir long et étroit qui reçoit les rayons réfléchis par les miroirs du galvanomètre et les renvoie sur un écran à travers une lentille cylindrique. L'oscillographe est placé au fond d'une caisse en bois, il reçoit la lumière d'une forte lanterne à projection, qui fournit une zone lumineuse étroite et longue qui, après réflexion et réfraction dans la lentille cylindrique, se transforme en un point lumineux très brillant qui se meut en figurant la courbe du courant. Avec une feuille de papier transparent tendue sur la surface cylindrique de la lentille, on peut tracer à la main le mouvement du point lumineux. Avec du papier photographique, on obtient directement la courbe du courant.

VIII. — APPAREILS DIVERS.

PYROMÈTRES.

Les pyromètres sont représentés à l'Exposition par plusieurs spécimens exposés par différents constructeurs. La construction de ces appareils a pris un certain développement depuis les études faites par M. Le Chatelier sur les métaux à employer pour produire des couples permettant de mesurer les hautes températures.

La maison Carpentier expose un couple thermo-électrique *Le Chatelier* composé d'un fil de platine pur et d'un fil d'alliage de platine et de rhodium, et un couple composé de platine pur et d'un alliage de platine et d'iridium, dont les effets sont à peu près comparables; en outre, une canne pyrométrique destinée à fonctionner avec lesdits couples. Les fils fixés aux extrémités du couple sont reliés à un galvanomètre qui permet de mesurer la force électromotrice.

Elle expose, en outre, un pyromètre électrique de M. Le Chatelier dans lequel le galvanomètre, genre *Deprez-d'Arsonval,* est disposé pour être accroché au mur. Le cadre mobile est suspendu par deux fils de maillechort l'un au-dessus, l'autre au-dessous, terminés par des petites sphères de nickel qui s'engagent dans des encoches pratiquées dans les supports fixes et dans le cadre mobile; cette disposition a pour objet de faciliter le remplacement d'un fil cassé. L'observation se fait au miroir, et un support analogue à la planchette du galvanomètre porte l'échelle et une lampe pour éclairer le spot.

Dans un autre modèle de M. Carpentier, le galvanomètre est encore à cadre mobile, mais les lectures se font au moyen du microscope. Dans cet appareil la suspension est fixe et la graduation reste constante. Le cadre mobile peut être calé par un dispositif spécial, ce qui rend l'appareil transportable.

Enfin, un troisième modèle constitue un pyromètre à lecture directe. C'est une sorte de voltmètre de précision dans lequel le cadre mobile est suspendu par un fil plat très fin et un boudin du même fil, les deux fils étant à la partie supérieure. Le cadre se meut dans un champ uniforme d'une amplitude de 90 degrés, de sorte que la lecture se fait directement sur un cadran divisé en millivolts de 0 à 18; une seconde division donne la valeur en degrés thermométriques pour le couple fourni avec l'instrument. Un système de calage permet de transporter l'appareil.

Dans le stand de M. Ducretet nous trouvons un pyromètre industriel avec couple de Le Châtelier en platine pur et platine rhodié avec cannes pyrométriques : l'une avec tube en fer de 1 m. 40, l'autre avec tube en porcelaine de 0 m. 85.

MM. Hartmann et Braun exposent un appareil pour mesurer les températures jusqu'à 400 degrés, basé sur la variation de la résistance d'un couple de platine pur et d'alliage de platine. Cet appareil est à lecture directe pour les températures supérieures à 400 degrés; ils emploient le couple de platine-platine-nickel pour les températures jusqu'à 1,000 degrés et le couple de Le Chatelier platine-platine-rhodium jusqu'à 1600 degrés. Le couple thermo-électrique composé de longs fils soudés ensemble par une extrémité, est renfermé dans une canne de 1 m. 50 de longueur qui peut être introduite dans le four à vérifier de manière que la jonction des fils soit seule exposée à la chaleur. Ces fils sont montés dans une armature composée de parties cylindriques en matières réfractaires. Pour mesurer la force électromotrice, on emploie un millivoltmètre sensible gradué en degrés de température. Cet instrument est du type *Deprez-d'Arsonval*.

Pour les basses températures, MM. Hartmann et Braun emploient une pile thermo-électrique composée de fer et de constantan. Le galvanomètre est un appareil à cadre mobile très sensible à axe vertical.

La pile du professeur Rubens, construite par la maison Siemens et Halske, est destinée aux études de chaleur rayonnante; elle comprend : 20 couples de fer constantan renfermés dans une enveloppe cylindrique en laiton, les soudures paires sont disposées sur une ligne verticale. Les radiations sont reçues sur une seule série de soudures par une fente pratiquée dans la boîte cylindrique. On obtient avec ces éléments 1.000 microvolts pour une différence de 1 degré centigrade entre les soudures.

La maison Keiser et Schmidt expose des appareils thermo-électriques pour mesurer les températures jusqu'à 600 et 1,600 degrés.

Pour les premiers, c'est encore le fer constantan qui est employé. L'appareil comprend une canne pyrométrique dans laquelle sont renfermés deux couples en série, qui donnent une force électromotrice suffisante. Les éléments sont placés dans un tube de porcelaine entouré d'une tresse d'amiante, et le tout est placé dans un tube en fer.

Les soudures exposées à la chaleur sont couvertes de plaques de fer; celles de la partie supérieure se refroidissent facilement. Les fils conducteurs, partant des bornes de la canne, sont reliés à un galvanomètre à cadre mobile d'une résistance de 50 ohms environ, muni d'un index qui se déplace devant un cadran divisé qui indique directement la température à laquelle est soumise la canne pyrométrique.

Pour les températures atteignant 1,600 degrés, c'est le platine-platine-rhodié dont il est fait usage. Le galvanomètre employé dans ce cas est à cadre mobile, mais son axe de rotation est vertical et repose sur une crapaudine en pierre fine. Le courant lui est amené par de légers ressorts ne présentant pas de résistance au mouvement du cadre. Le cadran présente une double graduation : une en degrés thermométriques tracés suivant le couple employé; l'autre en millivolts que permet de vérifier le galvanomètre. Dans la canne pyrométrique, un des fils descend dans un tube en porcelaine alors que l'autre est à l'extérieur. L'ensemble est entouré d'amiante et enfilé dans un second tube en porcelaine portant également une enveloppe d'amiante; enfin, le tout est placé dans la canne en fer.

En Allemagne, tous les éléments sont étalonnés par l'*Institut physico-technique impérial* dont le laboratoire expose un modèle du four électrique employé pour procéder à ces opérations.

Pour mesurer les très faibles variations de température, la *Cambridge scientific Instruments Cy* présente un radiomicromètre composé d'un galvanomètre d'Arsonval dans lequel le cadre a la forme d'un ∩ très étroit de 30 millimètres de hauteur. Il est suspendu à sa partie courbe par un fil de quartz fixé dans une pince, le cadre est composé d'un fil de cuivre, dont les deux extrémités inférieures sont noircies; celles-ci sont terminées par une pince thermo-électrique dont les deux branches sont soudées au cadre avec de l'or. Le cadre, qui est ainsi fermé sur lui-même, est placé dans l'entrefer d'un fort aimant en fer à cheval. Quand un rayon calorifique frappe la pince, un courant prend naissance qui produit une déviation du cadre. Il suffit de moins de 1 degré centigrade entre les soudures de la pince pour produire la déviation maximum. Les lectures se font au miroir avec ce galvanomètre.

PILE THERMO-ÉLECTRIQUE.

M. Julius Pintsch, de Berlin, expose une pile thermo-électrique de M. Gülcher. Cette pile se compose de 50 éléments montés en deux lignes parallèles de chaque côté d'une plaque en ardoise, qui forme la clôture supérieure d'un réservoir à gaz alimenté par une buse d'introduction Bunsen.

Chacun des éléments comprend un petit tube de nickel, qui forme l'électrode négative et qui sert à conduire le gaz au bec de chauffage. L'extrémité supérieure de ce petit tube, qui porte un brûleur en stéatite, est brasée avec une pièce de jonction tubulaire en nickel qui entoure le brûleur. Autour de cette pièce de jonction est coulée, en forme prismatique, l'électrode positive, consistant en un alliage d'antimoine très peu

fusible. Afin d'éviter les crevasses ou fissures qui pourraient se produire dans l'alliage par suite de la dilatation du tube de jonction pendant le fonctionnement de la pile, deux anneaux d'acier entourent ce tube et sont noyés dans l'alliage d'antimoine. Des plaques réfrigérantes de cuivre soudées aux extrémités extérieures des électrodes positives servent à relier les éléments les uns aux autres. Les éléments sont isolés avec de l'amiante.

La force électromotrice développée par cette pile est de 3 volts. La résistance intérieure de 0 ohm 50 et l'intensité de 3 ampères si la résistance extérieure est égale à la résistance intérieure. La consommation du gaz est de 130 litres par heure.

Cette pile est employée pour les travaux électrolytiques et galvanoplastiques et dans les laboratoires de physique et de chimie.

ÉTUDE DU MAGNÉTISME TERRESTRE.

M. Carpentier expose les appareils construits d'après les données de M. Mascart et connus sous la dénomination de *magnétomètres*.

Ces modèles comprennent : un magnétomètre unifilaire pour déterminer la direction de la composante horizontale ; un magnétomètre bifilaire destiné à mesurer l'intensité de la composante horizontale ; et un magnétomètre balance pour mesurer l'intensité de la composante verticale. Ces appareils, d'ailleurs connus, sont composés d'une aiguille mobile et d'un barreau aimanté placé perpendiculairement au méridien magnétique, auxquels sont annexés des instruments de mesure très sensibles pour déterminer les intensités.

MESURE DES CHAMPS MAGNÉTIQUES.

La mesure des champs magnétiques, que M. Miot fait au moyen de l'inductomètre, qui figurait à l'Exposition de 1889, peut se faire au moyen de la spirale de bismuth, procédé employé par MM. Lenard et Howard et basé sur la modification de la résistance que cette matière subit dans un champ magnétique variable.

L'appareil exposé par MM. Hartmann et Braun consiste en un fil mince de bismuth chimiquement pur, roulé en spirale double et plane et convenablement isolé. Il est soudé à ses extrémités à deux tiges de cuivre plates, munies de bornes et fixées dans une poignée en ébonite. La spirale est protégée contre les chocs extérieurs par une enveloppe en mica ; son épaisseur n'est que de 1 millimètre environ, ce qui permet de l'introduire dans des champs très étroits. La mesure de la résistance se fait au moyen d'un pont de Wheastone. Il faut avoir soin de placer le plan de la spirale perpendiculairement aux lignes de force. On établit, en général, une courbe des variations de la résistance, qui est une fonction de l'intensité du champ magnétique constante pour la même spirale, ce qui permet de trouver directement le nombre des lignes de force en rapport avec l'augmentation de la résistance de la spirale considérée.

SLIPMÈTRE.

Enfin, la maison Ganz expose un appareil étudié par M. le professeur Hoor pour observer le glissement magnétique dans les machines monophasées ou polyphasées. Il consiste en un petit transformateur sans noyau de fer, dont l'enroulement primaire est formé par une spire de câble épais, en forme de Ω, faisant partie du circuit induit du moteur ; l'enroulement secondaire, constitué par 400 spires de fils de cuivre de 0,2 millimètre de diamètre, est relié à un téléphone ou à un galvanomètre. On peut ainsi, pendant la marche du moteur, compter le nombre de pulsations par seconde du courant induit ; ce nombre est égal à la différence entre celui des alternances primaires et celui des alternances secondaires. Si l'on connaît les valeurs du glissement correspondant aux différentes charges du moteur, on peut apprécier la charge à un moment quelconque. Cet appareil a reçu le nom de *slipmètre*.

DEUXIÈME PARTIE.

ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.

L'électricité médicale comprend toutes les applications directes ou indirectes de l'électricité à l'art de guérir.

On peut diviser ces applications en deux groupes bien distincts et rationnels. Dans le premier groupe, le corps de l'homme fait partie du circuit électrique et se comporte comme un conducteur, d'ailleurs très complexe, du flux provenant du générateur électrique. Dans le second groupe d'applications, l'électricité est employée, dans des transformateurs particuliers, à produire l'une des formes d'énergie : travail mécanique, chaleur, radiations connues ou inconnues, magnétisme, actions chimiques, dont le médecin se sert ensuite pour arriver au but qu'il se propose d'atteindre dans le diagnostic ou le traitement des maladies.

La première classe de ces applications comprend toute l'électrothérapie et l'électrodiagnostic ; la deuxième classe, qui se réduisait autrefois à l'emploi des galvanocautères, de quelques moteurs électriques, des appareils à ozone, etc., vient de s'augmenter, depuis la belle découverte de Rœntgen, en 1895, d'une application qui tend à devenir de jour en jour plus utile et plus importante : c'est celle des rayons X.

C'est d'après cette classification rationnelle que nous diviserons la description des appareils d'électricité médicale exposés dans l'Exposition universelle de Paris de 1900. La première classe comprendra tous les appareils utilisés lorsque le corps de l'homme sert de conducteur au courant, c'est-à-dire dans les applications directes de l'électricité. Pour ne pas créer un mot nouveau, nous lui donnerons celui d'*électrothérapie*. La seconde classe comprendra les appareils dans lesquels l'énergie électrique est transformée avant d'être utilisée par le médecin ; ce sont là, à proprement parler, *les applications indirectes* de l'électricité à la médecine.

PREMIERE CLASSE.

APPLICATIONS DIRECTES DE L'ÉLECTRICITÉ À LA MÉDECINE.

ÉLECTROTHÉRAPIE.

Au point de vue qui nous occupe, on peut diviser les appareils exposés destinés à l'électrothérapie en plusieurs groupes naturels distincts. Ces groupes naturels sont les suivants :

1° Sources de courants ou générateurs employés en médecine ;

(1) Due à M. le docteur Bergonié.

2° Appareils de mesure ;
3° Appareils de graduation et de commutation ;
4° Appareils d'application ou électrodes.

SOURCES OU GÉNÉRATEURS EMPLOYÉS EN MÉDECINE.

Pour que la description des nombreuses sources de courants exposées à l'Exposition de 1900 soit moins confuse, nous la diviserons elle-même en :

A. Sources à bas potentiel,
B. Sources à potentiel élevé.

La clarté de ces appellations ne nécessite aucune définition.

A. Parmi les sources à bas potentiel, nous classerons les piles, les accumulateurs, certaines bobines de Ruhmkorff et les machines dynamos à courant continu ou non, sources dans le circuit desquelles est intercalé directement le corps de l'homme.

B. Parmi les sources à haut potentiel, nous classerons les machines statiques et les appareils produisant les courants à haute fréquence.

Il y aura bien quelquefois des hésitations pour classer tel générateur dans telle ou telle classe, mais ces exceptions sont rares, et nous ne croyons pas devoir leur sacrifier les liens de parenté évidente et de communauté d'effets que présentent entre eux les générateurs d'une même classe.

SOURCES À BAS POTENTIEL. — PILES MÉDICALES.

Les piles médicales sont peu nombreuses à l'Exposition ; on y trouve cependant quelques formes de batteries galvaniques transportables nouvelles et intéressantes. Peu de piles sèches. Quant aux autres éléments de piles qui pourraient constituer les batteries fixes employées dans les cabinets des médecins, aucun de ces éléments n'est construit spécialement pour cet usage et on pourra en lire la description dans le rapport de la Classe 24 du Groupe V.

La maison Gaiffe expose une nouvelle batterie pour courant galvanique. Elle est formée d'éléments au bisulfate de mercure et peut être montée avec un nombre d'éléments variable de 16 à 48. Les vases sont carrés, les crayons de zinc et de charbon sont fixés à des pièces en métal épais interchangeables, permettant les réparations sans le secours du constructeur. Le collecteur est double, il est à tige et à glissières ; des bornes sont disposées pour le galvanomètre. Pour mettre la batterie en fonction, on n'a qu'à soulever le support des vases et à le maintenir en tournant la poignée sur elle-même.

La maison Gaiffe construit deux séries de batteries ; la première série montée avec des bâtons de charbon permettant d'atteindre une intensité maxima de 75 m. A.; l'autre, avec des tubes en charbon au centre desquels est fixé le crayon de zinc qui permet d'ar-

river à une intensité maxima de 250 m. A. Ces batteries sont très pratiques et très économiques.

La maison Chardin expose une série de batteries galvaniques dans lesquelles l'élément, toujours au bisulfate de mercure, est formé d'un crayon de zinc et d'un crayon de charbon plongeant dans un vase dont l'orifice a la forme d'un cône retourné, forme si souvent utilisée dans les encriers inversables. L'orifice du vase étant presque complètement obturé, on peut soumettre cette pile à des oscillations de grande amplitude sans que le liquide excitateur se répande en dehors des vases. Dans ces mêmes batteries, M. Chardin recouvre de cellulose la surface cylindrique du crayon de zinc, de manière à ce que ce zinc s'use toujours par sa surface de section. S'il y a économie, il doit y avoir augmentation sensible de la résistance intérieure du couple.

Le même exposant expose une pile au bichromate de potasse, dont la construction permet au gaz de s'échapper facilement sans que le liquide puisse cependant être renversé. Cette pile est destinée à alimenter de petits appareils à courant faradique.

M. J. Guenet présente aussi un appareil à courant continu, de 24 éléments, au bisulfate de mercure, et transportable. Le dessus de la boîte porte un double collecteur circulaire avec interrupteur et plaque indicatrice des pôles du courant, quelle que soit la position des manettes et de l'inverseur. Quant aux éléments, ils sont à charbons cylindriques et avec zinc central.

L'appareil à courant galvanique de la maison Rebeyrotte est à éléments au bisulfate de mercure. Ces éléments sont montés avec des charbons en forme de tube carré; le zinc est central. Les vases extérieurs sont eux-mêmes carrés et tiennent, dans la boîte où ils sont placés, le minimum de volume.

Les appareils à courant galvanique portatifs construits par la maison W. A. Hirschmann, dans la section allemande, sont munis d'un galvanomètre apériodique et d'un collecteur à glissière permettant de prendre les éléments un à un; quelquefois, un rhéostat est ajouté à ces appareils. Les éléments sont des Leclanché.

M. J. Maisonneuve expose une batterie transportable pour courant galvanique, dans laquelle les éléments sont à liquide immobilisé, dits piles sèches. Cette batterie est fort légère et très transportable.

Les piles du Dr Fontaine-Atgier ne sont pas destinées à un usage exclusivement médical.

La pile à treillis de fer et soude caustique serait destinée, d'après l'exposant et inventeur, à charger des accumulateurs médicaux. Sa force électro motrice à circuit ouvert serait de 0 volt 45, sa résistance de 0 ohm 04, et elle pourrait fournir, d'après une courbe de décharge établie au laboratoire de la Société internationale des électriciens, pendant soixante-douze heures, 2 ampères à 1 ampère 75 d'intensité. La capacité de cette pile serait, d'après l'exposant, de 100 ampères-heure par litre de liquide. Il nous montre un modèle de 250 ampères-heure. Cette pile devrait être réunie au nombre de 12 éléments en tension pour former une batterie de 4 volts.

Une autre pile du même exposant, dite par lui *pile à haut voltage et à double excita-*

tion, est formée par un couple genre Bunsen, mais avec une solution caustique de soude et de zinc pour la réaction excitatrice, et charbon et mélange nitreux d'une composition spéciale appartenant à l'exposant pour la réaction dépolarisatrice. On connaissait d'ailleurs déjà l'emploi de l'acide azotique comme dépolarisant, avec la soude caustique comme liquide excitateur dans la même pile. Dans le couple Fontaine-Atgier les vapeurs nitreuses semblent avoir été complètement éliminées.

La force électromotrice mesurée au voltmètre de Chauvin et Arnoux varie entre 2 volts 30 et 2 volts 35. Le vase poreux est particulier ; il est formé de trois parties, une carcasse centrale en celluloïd perforé, sur cette carcasse une enveloppe de carton formant diaphragme proprement dit; enfin une bande de grosse toile maintient le carton. Deux grands éléments de cette pile ont donné, à l'exposant, sur un moteur, 1 ampère 7 pendant huit heures. Nous avons essayé de faire avec l'exposant un calcul du prix de revient de l'hectowatt-heure fourni par ladite pile. D'après ses indications, nous avons trouvé que ce prix oscillait autour de 0 fr. 80, à peu près.

La pile exposée par M. Stadnitski, de Saint-Pétersbourg, est une pile sèche de petit volume ou plutôt à liquide presque immobilisé. Elle a été spécialement disposée par l'exposant pour faire marcher de petites bobines de Ruhmkorff.

Dans les batteries au bichromate ou au sulfate de mercure, type du docteur Boisseau du Rocher, exposées par la maison Gaiffe, la partie intéressante est le récipient contenant le liquide. Ce récipient est séparé en deux parties: celle du bas qui est entièrement fermée, sauf deux tubes débouchant l'un à l'extérieur, et l'autre dans la case du récipient où se trouvent les éléments. En insufflant de l'air, le liquide monte dans cette case supérieure et la pile fonctionne; sinon elle est mise au repos et peut être transportée. Dans le modèle primitif chaque élément avait son vase particulier; les tubes d'air étaient nombreux et d'un entretien difficile. Dans le dernier modèle exposé par la maison Gaiffe, un seul vase contient tous les éléments séparés par des cloisons incomplètes. Le tout est ainsi très simplifié, et les couples sont cependant très suffisamment isolés au point de vue électrique.

La pile au bichromate à un seul liquide renouvelable, de M. le docteur Vincent, exposée par M. Ducretet, est destinée à suppléer aux accumulateurs pour alimenter les bobines de Ruhmkorff destinées à la production des rayons X. Dans cette pile, le liquide est renouvelé par un distributeur à niveau constant, même pendant le fonctionnement de la batterie. Une série de dispositifs très ingénieux permet le remplacement des zincs, l'écoulement du liquide épuisé et le nettoyage complet de la batterie. Le liquide excitateur est une solution de bichromate de soude et d'acide sulfurique avec addition de bichlorure de mercure pour l'amalgamation des zincs. Cette batterie, par le groupement des éléments entre eux, permet d'obtenir une grande intensité comme celle demandée pour l'entretien des galvanocautères.

Les piles à grand débit, de M. Radiguet, sont connues depuis longtemps. Essayées pour l'éclairage domestique, elles sont employées aujourd'hui par le constructeur pour alimenter les grandes bobines de Ruhmkorff. Elles peuvent être montées à un ou deux

liquides. Leur particularité est d'utiliser les déchets de zinc fondus en boules amalgamées que l'on ajoute à mesure de l'usure et dont le rapprochement par le poids forme la continuité de l'électrode négative. Cette amalgamation de zinc est employée depuis longtemps dans les piles de cette maison. Cette pile s'entretient indéfiniment sans être démontée, la vidange du liquide se faisant sur place au moyen d'un siphon s'amorçant en soufflant. Une batterie de cette pile permet d'entretenir constamment chargés des accumulateurs pour tous les usages médicaux.

ACCUMULATEURS.

Les accumulateurs sont utilisés en médecine dans bien des cas; nous citerons par exemple : le chauffage des galvanocautères, l'excitation des bobines pour rayons X, l'éclairage de petites lampes à incandescence, l'entretien des petits moteurs, des ozoneurs, etc.

Ces accumulateurs peuvent être transportables ou stables. Les accumulateurs stables ne diffèrent pas de ceux employés dans l'industrie et nous n'y insisterons pas. Les accumulateurs transportables, au contraire, c'est-à-dire légers, de petite capacité et placés dans des boîtes *ad hoc,* ont surtout leur emploi dans le cabinet du médecin.

Parmi les accumulateurs exposés et disposés spécialement pour l'usage médical, nous avons remarqué ceux de M. A. Dinin. Les électrodes de ces accumulateurs présentent cette particularité d'être presque entièrement constituées par de la matière active sous forme de très grandes pastilles agglomérées par un procédé spécial basé sur l'emploi de certains produits de distillation des goudrons. Ces grandes pastilles sont entourées d'un léger cadre de plomb servant de conducteur, sans qu'il soit nécessaire d'employer une grille comme support de la matière active. Celle-ci, par sa préparation spéciale, a une conductibilité et une solidité suffisantes dont il résulte, pour les plaques ainsi constituées, deux avantages principaux : grande capacité et décharge spontanée réduite au minimum par suite de l'absence presque complète de couples locaux.

A remarquer les bacs en celluloïd transparents, fabriqués dans les ateliers Dinin, parfaitement étanches, légers, solides et facilitant considérablement la surveillance des appareils.

Parmi les grandes variétés de modèles exposés par M. Dinin, cet exposant a montré diverses batteries contenues dans des boîtes en bois blanc vernissé, avec bornes extérieures. Ces batteries sont destinées à l'alimentation des bobines pour rayons X. Une première batterie de 8 volts, 4 éléments, a une capacité de 100 ampères-heure, au régime de 4 ampères; ce régime est un peu faible pour les bobines puissantes dont l'usage tend à se généraliser. Au régime de 11 ampères, la même batterie aurait une capacité de 56 ampères-heure à peu près. Le poids de chaque élément est de 8 kilogr. 300 et la batterie tout entière pèse 40 kilogrammes. Elle est hermétique; la fermeture du bac, entièrement en celluloïd, est fort ingénieuse et disposée de manière que l'on puisse réparer économiquement le convercle. L'orifice supérieur est fermé par

un bouchon de caoutchouc portant un tube de verre et une boule soufflée, de telle manière que le liquide ne puisse en aucune façon être projeté hors du bac. Ce tube de verre et l'ampoule sont faits sur le principe des encriers inversables.

Les connexions d'élément à élément sont également intéressantes. Elles sont faites au moyen d'un ruban de cuivre recouvert de plomb et vernissé au caoutchouc; on a ainsi une bonne conductibilité et une inoxydabilité à peu près complètes, mais le démontage de la batterie ne peut se faire que chez le constructeur ou dans un atelier bien outillé.

M. Dinin nous montre encore des accumulateurs séparés, dont les bornes sont en cuivre rouge pur, métal qui, d'après son expérience personnelle, résiste parfaitement à l'acide, même mieux que l'argent.

Pour de petites capacités, M. Dinin emploie des batteries de 8 volts et de 40 ampères-heure de capacité, qui sont très utilisées par divers constructeurs et en particulier par M. Ducretet, pour la télégraphie sans fils. Elles peuvent également servir en médecine. Le poids de chacun des éléments est de 3 kilogrammes.

Dans la batterie W^3, dite *type du combat naval,* chacun des éléments, au nombre de 6, est de 54 ampères-heure de capacité, au régime de 2 ampères 5, mais, poussée un peu, cette batterie pourrait servir également aux usages médicaux, bien que la capacité en soit très diminuée par le régime qui lui serait demandé pour l'alimentation des grandes bobines.

En fait de petits éléments, le constructeur nous montre un modèle X^2 de 12 ampères-heure de capacité et du poids de 1 kilogramme, qui nous paraissent très convenablement montés.

Tous ces éléments sont des éléments transportables, mais la maison Dinin construit aussi des éléments stables à formation Planté, avec quadrillage fait d'une façon spéciale. Ce sont des incisures pratiquées dans le plomb et inversées de sens d'un carré à l'autre; ces éléments ont une faible capacité par unité de poids, mais ils ont, comme tous les Planté, une grande durée et surtout peuvent donner de fortes intensités de débit. La plaque négative est faite encore d'une façon toute particulière. En terminant, M. Dinin nous a fait remarquer que le fil qui part du pôle positif du dernier élément est enroulé en hélice d'un tour et demi de spire; les sels grimpants sont ainsi arrêtés en route.

Les accumulateurs et batteries transportables ou fixes exposés par la maison Hirschmann peuvent être à liquide solidifié avec des connexions bien protégées contre l'oxydation. Ces accumulateurs ne se déchargent jamais d'eux-mêmes, même si l'on en fait un emploi très rare. On peut les transporter et même les expédier très facilement. Le courant de décharge varie avec les différents types.

Les batteries d'accumulateurs exposées par la maison Gaiffe sont destinées à produire la lumière et à alimenter les galvanocautères; elles sont en vases de celluloïd et enfermées dans des boîtes en bois portant des rhéostats appropriés à l'usage auquel ces batteries sont destinées.

La maison Becker et Cie exposait une série d'accumulateurs, parmi lesquels un certain nombre étaient destinés aux usages médicaux. Les batteries, d'un nombre d'éléments variable, étaient placées dans des boîtes en bois qui portaient en même temps un rhéostat destiné à graduer le courant, soit pour la lumière des petites lampes médicales, soit pour les galvanocautères. La capacité des éléments était elle-même très variable, suivant les divers usages auxquels ces éléments étaient destinés. L'on y trouvait des accumulateurs depuis 1 ampère-heure de capacité, pouvant servir pour les batteries transportables de galvanisation, jusqu'à des éléments de 30 ampères-heure et plus pour la galvanocaustique.

APPAREILS À COURANT FARADIQUE.

Les appareils à courant faradique sont, comme on le sait, des bobines de Ruhmkorff de petites dimensions. Ces appareils ont pour caractéristique d'avoir, pour la plupart d'entre eux, une bobine secondaire mobile par rapport à la bobine primaire fixe. Les divers appareils exposés ne diffèrent entre eux que par des détails et ne présentent pas de modification sensible sur les appareils anciens. Nous les décrirons très succinctement.

M. J. Guénet a exposé trois modèles de bobines à chariot. Dans le premier modèle, on trouve le grand chariot ordinaire sur lequel peuvent glisser trois bobines enroulées de fils de différentes grosseurs. L'interrupteur de cet appareil est un métronome à balancier qui permet d'obtenir depuis 20 interruptions à la minute jusqu'à un nombre très élevé. Le réglage se fait au moyen du déplacement d'un poids mobile sur la tige supérieure. Un interrupteur à lame, à grande vitesse et avec électro-aimant indépendant, permet aussi d'actionner cet appareil.

Dans le chariot moyen, modèle dit, par l'exposant, *du professeur Bergonié,* on trouve un chariot beaucoup moins long, une bobine induite plus volumineuse et à fils gros, enfin, dans le socle de l'appareil, un condensateur de très grande capacité qui permet à l'interrupteur à lame de la bobine de fonctionner sans étincelle.

Le troisième appareil de l'exposant est un appareil transportable en boîte avec un interrupteur à balancier; il est alimenté par une pile au bichromate de potasse.

La maison Rebeyrotte expose un appareil à courant faradique à chariot, à 3 bobines et à interrupteur particulier. Le réglage de cet interrupteur est obtenu par la tension plus ou moins grande d'un ressort-spiral antimagnétique qui permet à un balancier des oscillations plus ou moins rapides. Le constructeur obtient par ce moyen, d'une façon très régulière, un nombre d'oscillations et par conséquent d'interruptions du courant qui alimente la bobine inductrice, variant de 4 par minute à un nombre suffisant pour la tétanisation des muscles. Quant aux bobines induites, elles sont mues sur le chariot par une vis à crans. La continuité du circuit est assurée par des contacts glissants.

Les appareils à courant faradique de la maison Hirschmann sont ou bien des appareils transportables avec une ou deux piles Leclanché, suivant qu'on les emploie plus

ou moins fréquemment, ou bien des appareils à chariot que le constructeur place sur les meubles qu'il construit pour l'électrothérapie. Dans les appareils à chariot l'interrupteur est toujours mû par un électro-aimant indépendant; la graduation du courant est faite en faisant mouvoir la bobine mobile au moyen d'une crémaillère ou en retirant le noyau induit de la bobine inductrice.

La maison Gaiffe présentait divers types d'appareils à chariot avec interrupteurs à vitesse variable. Dans tous ces instruments la variation de vitesse du trembleur est obtenue par un simple déplacement d'un levier. Dans le grand modèle, l'interrupteur donne, à partir d'une interruption toutes les deux secondes jusqu'à cinquante interruptions par seconde. Sur ce grand modèle également, on remarque deux divisions du chariot sur lesquelles se déplace la bobine induite. L'une de ces divisions est en centimètres et indique la distance qui sépare la bobine induite de la bobine inductrice, l'autre division est proportionnelle et donne les variations de la force électromotrice induite aux divers points de la course de la bobine. Divers autres types de ces appareils transportables ou non étaient exposés par la même maison. Ils sont bien connus.

MM. Eleuthériades et Vrontakis (Grèce) ont exposé au pavillon de leur pays, une machine de Clarke, pour l'usage médical, qui nous a paru bien construite.

Signalons encore l'appareil à deux bobines Ruhmkorff du Dr Fontaine-Atgier, excitées au moyen d'un trembleur double et qui donnerait, d'après l'exposant, des courants induits dont les ondes seraient parfaitement symétriques.

La maison Gaiffe expose une bobine à extra-courant roulée avec du très gros fil de trois millimètres de diamètre et munie d'un interrupteur donnant 60 à 1,500 interruptions par minute. Cet appareil, qui porte le nom du Dr Constantin Paul, est fait pour l'utilisation dans les bains hydro-électriques des courants induits. On peut pour graduer ces courants se servir d'un appareil quelconque, rhéostat en tension, en dérivation ou réducteur de potentiel, mais on ne peut les mesurer.

COURANTS ALTERNATIFS, SINUSOÏDAUX ET ONDULATOIRES.

Ces courants ont été introduits dans la thérapeutique grâce à M. d'Arsonval. Les machines qui servent à les produire sont ou des machines magnéto, ou des dynamos de petite puissance. Les termes de courants alternatifs et sinusoïdaux sont bien définis en électricité générale; quant aux courants ondulatoires, on entend, sous ce nom, des courants dont les ondes, au lieu d'être symétriques par rapport à la ligne de différence de potentiel zéro, sont situées toutes du même côté de cette ligne.

L'un des appareils exposés par la maison Gaiffe pour produire le courant sinusoïdal se compose d'une dynamo transformatrice du type des moteurs shunt de cette maison et de la puissance de douze kilogrammètres. On sait que dans ces dynamos deux bagues sont ajoutées au collecteur et reliées à deux lames de ce collecteur, placées à 180° l'une de l'autre. Si l'on fait fonctionner le moteur sur 110 volts on recueillera aux balais frottant sur les bagues, du courant sinusoïdal à 78 volts environ. Pour obtenir

le courant, appelé par M. d'Arsonval courant ondulatoire, on prendra un balai à courant continu et un balai à courant alternatif.

Dans le dispositif de la maison Gaiffe on peut faire varier la vitesse du moteur et par conséquent le nombre d'alternances du courant sinusoïdal ou le nombre d'ondes du courant ondulatoire : 1° en changeant la valeur du champ; 2° en faisant travailler plus ou moins le deuxième enroulement de l'induit. Tous les appareils de réglage de la dynamo transformatrice étaient montés, dans l'exposition de la maison Gaiffe, sur un panneau de marbre qui portait encore le réducteur de potentiel servant à faire varier les courants sinusoïdaux ou ondulatoires. Des milliampèremètres à courant alternatif et à courant continu servaient à faire la mesure de ces courants et des manettes accouplées lançaient les diverses formes de courant dans le réducteur de potentiel faisant en même temps la substitution des appareils de mesure.

La deuxième solution préconisée par la maison Gaiffe et exposée par elle, pour obtenir des courants sinusoïdaux et ondulatoires, consiste à se servir d'une petite dynamo shunt, aux collecteurs de laquelle sont adjointes les deux bagues en relation avec deux touches du collecteur à 180° l'une de l'autre; cette dynamo est entraînée par un moteur distinct alimenté par le secteur. Dans ce cas la dynamo shunt n'est plus transformatrice et son voltage à champ égal varie avec la vitesse. Pour avoir un voltage sensiblement constant aux bornes du malade on se sert d'un réducteur de potentiel.

Dans l'appareil à courant alternatif de Clarke exposé par la maison Gaiffe, la graduation des courants, au lieu d'être obtenue par une dérivation magnétique de l'aimant, est donnée par le décalage des balais. Dans un nouveau type de cet appareil, il existe deux enroulements: l'un à fil gros et l'autre à fil fin, le premier servant d'inducteur au second tout en pouvant être utilisé pour le traitement des maladies.

La maison Gaiffe exposait un appareil à courants sinusoïdaux basé sur l'emploi d'une bobine à double T du genre de l'antique machine Siemens, mobile dans son champ magnétique à deux pôles. Une telle bobine donne des courants alternatifs, dont la forme varie brusquement lorsque la bobine passe d'un pôle à l'autre de l'aimant. Pour remédier à ce défaut et rendre la courbe de la force électomotrice engendrée sinusoïdale, M. d'Arsonval a eu l'idée de déformer la bobine en double T en la tordant sur elle-même et en donnant à chaque épanouissement polaire de l'induit, la forme hélicoïdale. Dans la rotation, la bobine ainsi transformée, quitte graduellement un pôle pour se rapprocher de l'autre, et la courbe de la force électromotrice engendrée se rectifie pour devenir absolument sinusoïdale, lorsque l'écartement des pôles et la forme hélicoïdale du double T sont dans un rapport déterminé.

MACHINES STATIQUES.

Les modèles de machines statiques de l'Exposition sont très nombreux; les perfectionnements sont sensibles, soit dans le rendement de la machine, soit surtout dans sa construction mécanique. Les dimensions des machines en général ont augmenté et la

plupart des modèles ne pourraient être mus à la main que difficilement. La machine statique a d'ailleurs trouvé, depuis les rayons X, un emploi nouveau en médecine, celui de l'excitation des tubes de Rœntgen, usage pour lequel elle est en concurrence avec les grandes bobines de Ruhmkorff.

Depuis quinze ans M. Bonetti s'est spécialement consacré à la construction et au perfectionnement de la machine électro-statique de Wimshurst. Parmi tous les modèles qu'il construit, les plus grands ont été conçus en vue des applications à la médecine soit pour l'électrothérapie, soit pour la production des rayons X. On ne trouve pas moins de onze machines électro-statiques exposées dans le stand de M. Bonetti. Nous ne les décrirons pas toutes et nous nous bornerons à signaler celles qui nous paraissent avoir marqué un pas en avant depuis l'Exposition de 1889.

La machine n° 14 de M. Bonetti est sa plus récente création; elle a été construite en 1900 pour l'Exposition universelle. Elle est à six plateaux en verre, pouvant être remplacés par une autre batterie de plateaux en ébonite. Le diamètre de ces plateaux est de un mètre; tous les axes sont montés sur billes, réduisant ainsi les frottements au minimum; les plateaux sont sans secteurs. La machine est montée dans un grand meuble dont la partie supérieure vitrée contient la machine elle-même, tandis que la partie inférieure, en panneaux pleins, renferme le moteur électrique d'un demi-cheval nécessaire pour actionner la machine et le rhéostat servant à régler la vitesse de ce moteur. On se fera une idée des dimensions de cette machine quand on saura que le meuble qui la renferme a une longueur de 1 m. 80, une largeur de 0 m. 90 et une hauteur de 2 m. 35.

La surface utile des plateaux passant par minute entre les peignes est de 1,085 mètres carrés, la longueur d'étincelle donnée par la machine est de 50 centimètres et le bruit causé par les étincelles successives est tel qu'il n'est pas possible de le supporter longtemps au voisinage de la machine. Il est grand dommage qu'aucun appareil ne permette encore de mesurer facilement en watts, la puissance électrique fournie par une machine statique, car il nous a semblé que cette machine était l'une des plus puissantes parmi celles qui ont été construites.

La machine à quatre plateaux exposée par M. Bonetti a ceci de remarquable que la transmission est faite sans cordes ni courroies, mais par chaînes analogues à celles des bicyclettes et par engrenages différentiels. Les plateaux ont 50 centimètres de diamètre; ils peuvent se démonter facilement et la surface utile passant par minute entre les peignes est d'à peu près 583 mètres carrés.

Une autre machine de M. Bonetti de création récente (1899) est la machine n° 13 de ce constructeur. Elle est à douze plateaux de 55 centimètres et à grande vitesse (900 tours par minute). Elle a été créée spécialement pour la radioscopie et la radiographie; elle est montée sur une table très solide avec pieds entretoisés et plateau supérieur en fonte. Le graissage des douilles, portées par les plateaux, est fait avec de la graisse consistante. Cette machine présente comme particularité d'être munie d'un appareil de chauffage disposé sous la table, qui, séchant l'air de la cage vitrée, assure la

IMPRIMERIE NATIONALE.

marche de la machine par tous les temps. Ajoutons que la surface utile passant par minute entre les peignes est de 1,750 m. q. 34 à la vitesse de 900 tours par minute et que la longueur d'étincelle atteint 33 centimètres.

La machine n° 7 *bis* du même constructeur à six plateaux de 55 centimètres et à grande vitesse, peut également servir à la radioscopie, à la radiographie et à l'électrothérapie. Elle est moins puissante que la précédente; aussi est-elle disposée pour être actionnée à la main au moyen d'une manivelle si le moteur électrique fait défaut. Elle porte un dispositif simple permettant de donner aux courroies la tension voulue, même lorsque la machine est en marche. La surface utile passant par minute entre les peignes, à 900 tours, est de 875 m. q. 34.

Dans la machine n° 9 à deux plateaux de 70 centimètres, sur table et montants en fonte, nous remarquons comme caractéristique la corde unique, sans croisement, commandant les deux plateaux mus en sens inverse. Les disques eux-mêmes sont fixés sur deux arbres complètement indépendants. Cette machine peut être chauffée par des lampes à incandescence placées dans l'intérieur de la cage. La surface utile qui passe par minute entre les peignes est de 330 mètres carrés.

Citons encore du même constructeur la machine simple sur support en bois noirci et ciré, d'une surface utile de 330 mètres carrés, comme la précédente.

La machine n° 7 est à 4 plateaux de 55 centimètres, la surface utile par minute est de 583 mètres carrés. Elle donne suffisamment pour être employée en radiographie et en radioscopie.

La machine n° 6 *bis* est à gros conducteurs formant capacité, elle est à 2 plateaux de 55 centimètres et bien moins puissante que les précédentes.

Enfin, la machine n° 5, à 2 plateaux de 46 centimètres, peut être renfermée dans une boîte en chêne, ainsi que ses accessoires, et transportée assez facilement. Le tabouret isolant peut être enfermé dans la même boîte, si bien que le médecin a ainsi à sa disposition un appareil complet pour toutes les applications de l'électricité statique.

M. Bonetti ne construit pas seulement des machines statiques à plateaux; les machines à cylindres, dont il a le premier établi les modèles, sont aussi bien connues. Les machines de ce type figurant dans son exposition étaient au nombre de deux. Dans la machine n° 12, qui a été créée par ce constructeur en 1893, les deux cylindres concentriques tournant en sens inverse ont 50 centimètres de hauteur et 50 centimètres de diamètre. Bien qu'on ne puisse pas imprimer à ces machines une vitesse aussi grande qu'aux machines à plateaux, la surface utile de ce modèle, qui passe par minute entre les peignes, est cependant de $487^{m^2}74$. Tous les organes mécaniques sont renfermés à l'intérieur de la colonne de fonte qui supporte les cylindres; les courroies de transmission sont supprimées; enfin, l'armature entièrement métallique et le bois du bâti assurent à l'appareil une solidité à toute épreuve. La puissance qu'elle absorbe sur la manivelle ne dépasse pas 7 à 8 kilogrammètres, qui, d'ailleurs, peuvent être fournis par un moteur électrique. Le perfectionnement introduit en 1900 par le constructeur a été la fabrication en une seule pièce des cylindres d'ébonite et, par là, la

possibilité d'augmenter considérablement la vitesse et, par suite, le débit de cette machine. Un dispositif imaginé par M. Bordier permet un chauffage régulier des cylindres.

Dans la machine n° 10 à 2 cylindres de 25 centimètres de hauteur et de 50 centimètres de diamètre, la construction est la même que pour la machine précédente, mais très simplifiée. La puissance nécessaire à son entraînement est de 5 kilogrammètres seulement, et la surface utile par minute, de 318 mètres carrés.

La grande machine statique de Wimshurst exposée par M. E. Ducretet est à 12 plateaux d'ébonite de 72 centimètres de diamètre. Cette puissante machine est auto-excitatrice; deux plateaux, servant à produire cette auto-excitation, sont munis de secteurs, les autres plateaux en étant dépourvus. Cette machine est exclusivement fabriquée pour l'usage médical et le constructeur a cherché à avoir le minimum de capacité afin d'éviter les commotions trop vives. Ce minimum de capacité est obtenu en supprimant les grandes surfaces métalliques. A cet effet, les collecteurs des peignes sont constitués par deux gros cylindres en bois verni avec deux simples bandes métalliques pour établir les communications. Le mode de montage des peignes est nouveau : leur support, à tige excentrée, permet le réglage rapide entre les disques tournants. Les balais métalliques agissent sur une très grande surface du diélectrique. Quant aux condensateurs de ces machines, ils sont faits avec de simples bouteilles en verre dur. Celles dites « de champagne » ont donné au constructeur les meilleurs résultats. Cette machine peut être enfermée dans une grande cage et mue soit à la main, soit par un moteur électrique. Elle peut être employée, à cause de son grand débit, pour exciter les tubes de Crookes.

Parmi les modèles de ces machines exposées par la maison Gaiffe, nous citerons la machine à 2 plateaux, genre Wimshurst, à secteurs dont les collecteurs sont armés de capacités ayant la forme de gros cylindres. Cette machine peut être mue à la main ou par un moteur électrique.

Mais la machine la plus importante exposée par la maison Gaiffe est celle appelée à *plateaux multiples démontables et à grande vitesse*. Cette machine se compose de 4, 6, 8, 10 plateaux et même davantage suivant les types. Ces plateaux sont portés deux à deux par des axes courts, supportés eux-mêmes par des colonnes de fonte très solides, faisant corps avec le socle de fonte de toute la machine. L'indépendance des paires de plateaux est absolue, et l'on peut démonter chacune de ces paires pour opérer le nettoyage. Les porte-balais sont rigides et les porte-peignes mobiles autour des collecteurs de la machine. La vitesse que l'on peut imprimer aux plateaux peut atteindre et dépasser 900 tours, si bien que l'on obtient, avec une telle machine à 6 plateaux, une surface passant entre les peignes de 760 mètres carrés par minute.

MM. Boulade, de Lyon, exposent une machine statique destinée à l'excitation des tubes pour rayons X. Cette machine statique est du genre Wimshurst, à 12 plateaux, avec poulie en métal, graisseur placé dans l'intérieur de l'axe, courroie en cuir chromé ne s'allongeant pas à l'usage. La machine tourne à 900 tours par minute; elle est installée dans une cage en bois de sapin, opaque par conséquent, cage pouvant se

démonter facilement pour le transport. Le volet avant de la cage est formé d'une lame d'aluminium et c'est derrière ce volet que l'on place le tube à rayons X, maintenu par des pieds isolants, qui portent en même temps les exploseurs. La hauteur du tube est malheureusement fixe dans le modèle que nous voyons, ce qui n'est pas sans inconvénient au point de vue radioscopique.

La machine statique pour l'usage médical qu'expose la maison W.-A. Hirschmann, de Berlin, peut être isolée ou faire partie d'un appareil universel pour cabinet électrothérapique qu'expose également ce constructeur. Elle se compose d'une machine de Voss à 2 ou 4 plateaux dont la moitié sont mobiles. Cette machine est auto-excitatrice. Dans le modèle exposé par M. Hirschmann, la machine est placée sous cage de verre dont l'un des côtés est percé pour laisser passer la courroie mue par une manivelle à portée de la main ou par un moteur électrique. Ce qui caractérise cette machine, ce sont les diverses pièces d'ébonite surmontant le dessus de la cage ou placées sur la paroi antérieure et qui permettent : de varier à chaque instant la longueur de l'étincelle et de la mesurer; de faire varier la capacité de la machine au moyen de condensateurs-plans que l'on change facilement; d'intervertir les pôles, et enfin de supporter un plateau à pointes pour la douche statique. Cette machine se conserve en parfait état, car le médecin électricien peut en manœuvrer tous les organes sans jamais ouvrir la cage.

La machine statique de Rebeyrotte et Cie est du modèle de Wimshurst, à 6 plateaux avec secteurs. L'axe est complètement monté sur billes. L'exposant construit encore des machines statiques, type Wimshurst et Carré combiné, ce type n'est autre chose qu'une machine Wimshurst à laquelle on a ajouté un gros conducteur pour en augmenter la capacité.

EMPLOI DE LA MACHINE STATIQUE POUR L'EXCITATION DES TUBES À RAYONS X.

Lorsqu'on emploie la machine statique pour produire les rayons X, il est très rare que l'on puisse directement brancher le tube sur les deux pôles de la machine; le tube, dans ce cas, est mal éclairé, à moins qu'il ne soit très mou ou que la machine ait un énorme débit. Au contraire, s'il existe une lacune sur le conducteur donnant lieu à une étincelle, l'éclairage du tube devient beaucoup plus intense. La quantité d'électricité qui passe à chaque étincelle est-elle plus grande pendant le temps très court de l'étincelle que celle qui s'écoule d'une manière continue lorsque la lacune n'existe pas? Ou bien encore se produit-il des ondes favorisant l'illumination du tube? C'est ce qu'il est difficile d'affirmer; quoi qu'il en soit, l'emploi des détonateurs pour l'excitation du tube par la machine statique donne de meilleurs résultats.

Les détonateurs très simples présentés par M. Bonetti sont de modèles divers; ils peuvent se monter sur ses machines et l'on peut, pendant la marche du tube, modifier la longueur de l'étincelle qu'ils provoquent; ils sont toujours constitués par deux boules s'écartant plus ou moins par des dispositifs variés.

Dans l'installation de radiographie au moyen de la machine statique exposée par la maison Gaiffe, la source du courant excitant le tube était une machine statique à 10 plateaux de 55 centimètres et à grande vitesse avec éclateur permettant de régler la tension suivant le vide du tube. On sait que cette disposition peut être supprimée lorsqu'on se sert de tubes à osmo-régulateur bien réglés, mais elle permettait à l'Exposition de faire fonctionner les tubes quel que fût leur état. Cet exploseur double était monté sur un bâton de verre et serré dans une colonne pareille à celles qui supportent les plateaux de la machine statique à grande vitesse du même constructeur. Ce bâton de verre porte à chaque extrémité un système permettant d'approcher ou d'éloigner une boule des conducteurs de la machine. On règle ainsi la tension de la machine pour un tube donné.

La maison Gaiffe exposait un appareil d'essai, pour mesurer le débit des machines statiques, construit d'après les idées de MM. d'Arsonval et Bergonié et basé sur l'emploi de l'anémomètre déjà indiqué par M. d'Arsonval pour le même usage. Cet appareil se compose essentiellement d'un anémomètre fixé dans un tube isolant et en face duquel est dirigé le souffle d'un disque armé de pointes mis en communication avec l'un des pôles de la machine statique dont on veut déterminer le débit. La loi qui règle la vitesse de l'anémomètre en fonction de ce débit est assez complexe et n'a pu être déterminée.

COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE.

Depuis l'Exposition de 1889, ces courants ont été introduits en médecine par M. d'Arsonval et étudiés surtout par lui. Leurs applications, à l'ensemble desquelles on a donné, avec juste raison, le nom de *d'arsonvalisation*, nom symétrique de galvanisation et faradisation, leurs applications, disons-nous, à la médecine s'étendent de plus en plus. La plupart des dispositifs, pour produire ces courants, sont également dûs à M. d'Arsonval, et leur puissance tend à devenir de plus en plus grande. C'est surtout en France qu'ont été publiés les travaux les plus intéressants sur ces courants, c'est parmi les exposants français que nous trouverons le plus grand nombre des appareils destinés à les produire.

Les installations de haute fréquence de la maison Gaiffe étaient au nombre de trois et comportaient des dispositifs différents, suivant la puissance mise en jeu. La première comprenait une bobine donnant 15 centimètres d'étincelle avec trembleur rotatif d'Arsonval-Gaiffe; un condensateur d'Arsonval et un résonnateur de Oudin. (On verra plus loin la description de ce résonnateur ainsi que celle du trembleur rotatif.)

La deuxième installation de haute fréquence était faite avec une bobine donnant 30 centimètres d'étincelle, un trembleur rotatif à mercure (voir plus loin) et une bobine de haute tension de M. le docteur d'Arsonval, remplaçant le résonnateur de Oudin.

Dans la troisième, de beaucoup la plus importante par la puissance utilisée, une dynamo transformatrice de 1 kilowatt était la source du courant. A cette dynamo arrivait le courant continu pris sur la distribution existant dans l'Exposition et la machine

le transformait en courant alternatif; celle-ci était à 4 pôles. Le courant alternatif arrivait à un transformateur de 15,000 volts d'où il sortait pour venir charger des condensateurs au pétrole, d'après le système du docteur d'Arsonval.

La décharge de ce condensateur au pétrole, nécessaire pour produire les courants de haute fréquence, s'effectuait au moyen d'un exploseur rotatif, système d'Arsonval. Cette installation a servi pendant quatre mois à faire fonctionner une bobine à haute tension pour courant de haute fréquence, bobine donnant 80 centimètres d'étincelle et qui a été employée tout le dernier mois de l'Exposition à la production d'une étincelle de 2 m. 10 jaillissant entre les mains du génie situé sur le sommet du Palais de l'Électricité. Cet allongement de l'étincelle a été obtenu en la faisant courir le long d'une plaque de marbre. Le bruit de cette étincelle s'entendait parfaitement du milieu du Champ-de-Mars et l'étincelle elle-même était visible malgré la profusion de l'éclairage en ce point.

Le grand solénoïde vertical de la maison Gaiffe sert à appliquer les courants de haute fréquence sous la forme appelée par M. d'Arsonval : *autoconduction*. Cet appareil consiste en un solénoïde de dimensions suffisantes pour que le malade puisse s'y tenir debout ou assis. Dans un premier modèle supporté par un bâti de bois, le solénoïde se relève ou s'abaisse, comme un grand ressort à boudin que l'on comprime, au moyen d'un système de poulies; dans un autre modèle fixé au plafond, le bâti est supprimé.

Avec le solénoïde vertical, le malade est obligé de rester debout ou, s'il s'assied, il diminue l'action inductrice. Avec le lit solénoïde construit par la maison Gaiffe, le malade est couché à l'intérieur du solénoïde et évite toute fatigue. Ce lit est constitué par deux parties qui rentrent l'une dans l'autre; l'une porte les spires du solénoïde, l'autre la couchette proprement dite. Il n'y a nul contact à établir et le malade peut être mis instantanément dans l'intérieur des spires ou en être tiré à volonté.

Lorsqu'on se sert de l'appareil dit *résonnateur de Oudin* pour obtenir des courants de grande fréquence et de haute tension, le dispositif des circuits se fait de la manière suivante : à partir du circuit secondaire de la bobine, le courant va à deux condensateurs, puis, des deux armatures, par deux conducteurs, au résonnateur. L'un est fixé à l'origine du solénoïde dit *résonnateur de Oudin*, et l'autre se déplace sur ce solénoïde jusqu'à ce qu'on ait obtenu des effluves maxima à l'autre extrémité. Une dérivation sur le circuit secondaire permet de décharger avec étincelle le condensateur et de produire, par conséquent, des oscillations de haute fréquence.

Dans la nouvelle bobine bipolaire à haute tension du Dr d'Arsonval, exposée par la maison Gaiffe, le dispositif est tout autre, c'est un transformateur sans circuit magnétique avec deux solénoïdes superposés dont le primaire extérieur ne comprenant que quelques tours de spires est parcouru par les oscillations de haute fréquence provenant de la décharge oscillatoire d'un condensateur, et dont le secondaire, enroulé sur un cylindre d'ébonite, donne les courants de haute tension que l'on obtient avec le résonnateur de Oudin. Cet appareil, construit par la maison Gaiffe, permet d'obtenir des effets très puissants; il permet aussi, bien entendu, d'avoir, d'une part, des effluves

à chacun des pôles de la bobine secondaire, effluves qui sont bien de sens contraire, et d'autre part, par le déplacement de la bobine primaire rendue mobile, d'avoir un seul effluve très volumineux, très régulier, tandis que l'autre n'a qu'une faible tension. On peut ainsi, avec cet appareil, faire des applications unipolaires ou bipolaires.

L'appareil de haute fréquence de M. Rochefort est alimenté par l'un de ses transformateurs. Le dispositif de l'éclateur et des bouteilles de Leyde est enfermé complètement dans une boîte en bois de manière à éviter un bruit trop intense.

Le résonnateur de Oudin, du même constructeur, est de grandes dimensions, enroulé sur un cylindre polygonal à jour. Les deux contacts sont pris sur la spirale au moyen de deux pinces dont l'une est fixe et dont l'autre est déplacée par l'expérimentateur pour le réglage.

Dans le modèle de résonnateur, que M. Rochefort appelle *résonnateur bipolaire*, il utilise quatre jarres électriques au lieu de deux, et deux résonnateurs dont le couplage avec les jarres se fait à pôles inversés ou non. On obtient ainsi, à l'extrémité de deux résonnateurs de Oudin, des effluves de grandes dimensions qui se repoussent ou s'attirent suivant que les pôles sont de même sens ou de sens contraire. C'est le seul résonnateur monté de cette façon existant à l'Exposition.

Dans son appareil de haute fréquence, M. Ducretet emploie le dispositif imaginé par M. d'Arsonval. Un oscillateur est enfermé dans une boîte montée sur colonnes, et les sphères de cet oscillateur sont réunies aux armatures internes de deux bouteilles de Leyde dont les armatures externes sont reliées au résonnateur. Un curseur muni d'une petite poulie ou galet, mobile sur le fil, permet de faire varier le point d'attache au résonnateur et ainsi de le régler. Quant au résonnateur proprement dit, c'est un cylindre plein, en bois fileté, sur lequel se trouve enroulé le solénoïde, dont le fil est plus gros à la partie inférieure. Le cylindre est immobile et c'est le galet à gorges qui se transporte autour du cylindre ; à cet effet, il est mû par des manettes, ressemblant, en plus petit, à celles de la roue d'un gouvernail.

L'appareil à haute fréquence de M. Radiguet contient dans le socle les condensateurs, tandis que le résonnateur de Oudin est placé au-dessus et verticalement. Le curseur modifiant le nombre de spires en prise est d'une grande simplicité et fonctionne par contact roulant sur le fil.

L'ensemble de l'appareil de haute fréquence exposé par M. Bonetti comprend une bobine donnant 15 centimètres d'étincelle avec un interrupteur de Wehnelt et un rhéostat de réglage permettant de se servir du courant de 110 volts. Le courant de la bobine vient charger des bouteilles de Leyde disposées en dessous de la tablette supérieure en verre d'un petit meuble portant en dessus le résonnateur de Oudin. Le détonateur est muni d'un étouffoir très simple formé d'un cylindre d'étoffe complètement clos qui atténue, dans une grande mesure, le bruit désagréable produit par la décharge des condensateurs.

Le résonnateur de Oudin lui-même est d'une construction ingénieuse et légère, son réglage se fait par rotation comme à l'ordinaire.

Les appareils de haute fréquence de la maison Hirschmann, de Berlin, n'ont rien de particulier et sont d'un petit modèle en comparaison de ceux fabriqués en France. Leur montage est celui d'après Tesla ou d'après d'Arsonval. Ces appareils sont combinés avec les bobines d'induction de ce constructeur qui est la source employée pour charger les condensateurs dont la décharge engendre les courants de haute fréquence.

Le *souffleur rotatif,* système du Dr d'Arsonval est une solution élégante d'une difficulté qui se présente lorsqu'on emploie une certaine puissance dans la production des courants de haute fréquence. Toutes les fois, en effet, qu'on se sert pour charger les condensateurs dont la décharge, dans certaines conditions, engendre le courant de haute fréquence, du courant alternatif ou des bobines puissantes avec interrupteur électrolytique, on obtient, au lieu d'étincelles brillantes entre les boules de l'exploseur, un arc électrique et la haute fréquence ne se produit pas. Les moyens employés le plus souvent pour éteindre cet arc étaient, soit l'action d'un champ magnétique intense, soit un jet d'air comprimé. Le premier système nécessite une installation coûteuse, le second une soufflerie encombrante et difficile à alimenter. M. d'Arsonval a eu l'idée ingénieuse de déplacer l'étincelle dans l'air et d'obtenir ainsi un soufflage d'autant plus énergique que la vitesse des parties entre lesquelles jaillit l'étincelle est plus grande. Dans le modèle de cet appareil construit par M. Gaiffe, ce sont les deux pôles de l'éclateur qui tournent à la fois. Un moteur à courant alternatif entraîne les deux pôles de l'éclateur représenté par deux tiges métalliques terminées en pointe d'œuf et recourbées légèrement à leurs extrémités de façon à bien déterminer le point d'éclatement de l'étincelle. Une des tiges est reliée d'une manière fixe, par un isolant, au moteur; l'autre est montée sur un palier indépendant et peut avancer ou reculer de manière à faire varier la distance explosive; elle est reliée à la première par un arbre en caoutchouc qui l'entraîne par un toc. Une vis à tête d'ébonite permet de faire le réglage de la longueur d'étincelle en marche.

Dans ces conditions, quelle que soit la vitesse mise en jeu, l'arc est éteint. En effet, avec une vitesse de rotation de 1,500 tours à la minute et un rayon des tiges du souffleur de 125 millimètres, on a une vitesse tangentielle de 18 m. 75 par seconde.

APPAREILS DE MESURE.

Les appareils de mesure utilisés en médecine ne diffèrent guère de ceux qui sont utilisés soit dans l'industrie, soit dans les recherches d'électricité physique. Nous ne décrirons donc pas tous les appareils de mesure pouvant s'appliquer à la médecine et nous renverrons pour ces appareils à la première partie du rapport. Ne trouveront place ici que ceux destinés spécialement par le constructeur à l'usage médical.

La maison Hartmann et Braun, de Francfort, s'occupe spécialement d'appareils de mesures industrielles et aussi d'appareils de mesure de laboratoire. Bien qu'elle ne construise pas d'appareils de mesure spécialement destinés à l'électricité médicale, on peut cependant trouver, dans le stand de cette importante maison, des appareils pou-

vant intéresser le médecin électricien. Parmi ces appareils, nous avons surtout remarqué des milliampèremètres et des voltmètres à déviation proportionnelle et parfaitement apériodiques. Ces milliampèremètres ont aussi un qualité importante, c'est de pouvoir recevoir un courant dix ou vingt fois plus grand que celui à mesurer sans être détériorés par cette augmentation considérable du courant. Un autre appareil très intéressant, construit par la même maison, est celui permettant de mesurer les courants faradiques et consistant en deux fils placés verticalement et dans lesquels passe le courant à mesurer. Ces fils s'échauffent et la déviation de l'aiguille est proportionnelle à l'intensité efficace du courant qui a échauffé les fils. Cet appareil est très sensible, nous avons vu une courbe qui indique que, pour 1 m. A. alternatif, la déviation à 1 mètre est déjà de plusieurs degrés. A partir de cette intensité jusqu'à 30 ou 40 m. A. c'est-à-dire pour les intensités qui intéressent surtout le médecin électricien, la déviation est proportionnelle aux intensités des courants envoyés dans les deux fils. C'est probablement l'appareil le meilleur qui existe aujourd'hui pour la mesure des courants faradiques; peut-être avec lui pourra-t-on enfin essayer de mesurer l'intensité efficace des courants faradiques qui traversent le corps de l'homme dans les applications électro-thérapeutiques.

Trois types d'appareils de mesure destinés au courant continu avaient été exposés par la maison Gaiffe.

Dans le premier type, construit sur le principe à circuit mobile du Dr d'Arsonval, le champ dans lequel se meut le cadre est formé par deux pièces polaires en forme de cylindres concentriques. L'un des côtés du cadre coïncide avec l'axe commun de ces cylindres, et l'autre se meut dans l'espace qu'ils laissent entre eux. Dans ces conditions le champ est uniforme dans les 360 degrés et les divisions du cadre mobile pourraient à la rigueur avoir cette amplitude. En réalité, les galvanomètres exposés par M. Gaiffe utilisaient environ 300 degrés lorsqu'il s'agissait de galvanomètres de laboratoire, et encore 240 degrés lorsqu'il s'agissait d'un type courant. Dans l'un des appareils exposés, les divisions étaient faites sur un cercle de 16 centimètres de diamètre, la longueur divisée était de 330 millimètres et, si l'on suppose un courant de 50 m. A. qui est le plus ordinaire en médecine, on obtient pour cet appareil 6 millim. 6 pour 1 m. A., ce qui donne facilement le cinquième. D'après le constructeur, cet appareil, encore à l'étude, ne donnerait pas un zéro absolument stable à cause de l'élasticité imparfaite des ressorts pour ces grandes déviations.

Le deuxième type exposé par la maison Gaiffe était encore un galvanomètre d'Arsonval à cadre mobile, mais avec une particularité résidant dans ce fait que l'aimant est fraisé pour former lui-même le champ magnétique avec la pièce centrale de fer, sans l'addition de pièces polaires. La bobine est fixée avec deux ressorts de rappel et de communication sur la pièce polaire centrale; on ne la place donc dans l'aimant que tout équilibrée et montée sur ses chapes en pierre dure, ce qui évite toute retouche après coup. Les cadrans sont en cuivre noirci, avec divisions gravées en blanc; les boîtes sont nickelées. Les modèles de ces boîtes sont au nombre de quatre ayant res-

pectivement 90, 120, 160 et 200 millimètres de diamètre. L'amplitude de la division est de 70 degrés environ donnant 50 millimètres d'étendue pour le premier modèle, 66 pour le second, 90 pour le troisième et 120 pour le plus grand.

Le troisième type de galvanomètre exposé par la maison Gaiffe porte le nom de *Meylan-d'Arsonval,* il est encore à cadre mobile. L'un des côtés du cadre est sur l'axe de rotation, tandis que le côté parallèle se meut dans le champ magnétique. Ce champ présente cette particularité qu'il est formé par les deux extrémités de l'aimant recourbé en arcs de cercle concentriques l'un au-dessus de l'autre. Ce dispositif supprime toute pièce polaire, augmente la puissance du champ et surtout, permet d'orienter la bobine mobile de manière à ce qu'elle devienne bobine magnétisante lorsque le courant à mesurer la traverse, évitant ainsi la désaimantation qui survient dans la plupart des autres appareils où la bobine est démagnétisante. Ce troisième type de galvanomètre est construit par la maison Gaiffe en boîtes de 160 et 200 millimètres de diamètre. Ce même type existe sous forme de modèle pour tableau à très grande échelle de 200 millimètres environ, en cage métallique noire avec dessus en métal cobalté oxydé d'un très bel effet.

C'est avec ce troisième type de galvanomètre que la maison Gaiffe construit les appareils enregistreurs médicaux donnant toute leur échelle pour 10 m. A., c'est-à-dire permettant d'apprécier le dixième de m. A. D'après le constructeur, ces instruments auraient un torque de 18 grammes-centimètres. Ce torque considérable assure la prise du point en dépit du frottement de la plume sur le tambour enregistreur.

Ces divers types d'appareils de la maison Gaiffe peuvent être enroulés soit en voltmètres soit en milliampèremètres. Les voltmètres existent dans les deux derniers types avec des résistances atteignant 100 ohms par volt, ce qui permet de s'en servir pour la mesure des piles médicales.

La maison Chauvin et Arnoux, dont les appareils sont décrits en détail dans une autre partie de ce rapport, construit un modèle de milliampèremètre destiné aux usages médicaux. Les qualités de cet appareil sont d'être absolument apériodique, de fonctionner dans toutes les positions, de n'avoir qu'une résistance extrêmement faible ne dépassant jamais quelques ohms, enfin de conserver son exactitude pendant fort longtemps. Les milliampèremètres de Chauvin et Arnoux ont des échelles variables depuis 10 m. A., divisés en 100 divisions pour toute l'échelle jusqu'à 1,000 m. A., toujours en 100 divisions pour toute l'échelle. De plus, au moyen de shunts réducteurs, ils peuvent donner à l'appareil trois sensibilités. Les diamètres de ces instruments peuvent être de 25, de 15 ou de 10 centimètres.

Les appareils de mesure portés sur les tableaux et les meubles électrothérapiques de la maison Hirschmann, de Berlin, sont un milliampèremètre vertical apériodique et un galvanomètre horizontal à ancre flottante également apériodique. Celui-ci porte un miroir que l'on peut incliner à 45 degrés pour lire les déviations sans être obligé de se placer au-dessus du limbe de la graduation. Ces appareils sont construits avec des

shunts qui leur donnent des sensibilités variables. L'un de ces appareils, gradué suivant les indications du docteur Sperling, permet de lire le centième de milliampère, ce qui est rarement utile en électrothérapie.

Les appareils de mesure, pour les courants de haute fréquence, étaient rares à l'Exposition et nous n'en avons trouvé que dans l'exposition de la maison Gaiffe.

Les appareils de mesure pour les hautes fréquences ne peuvent être que des appareils thermiques, mais pour que l'étalonnage de ces appareils, basés sur l'effet Joule (RI^2), puisse être légitime, il faut que leur résistance sur le courant continu de jaugeage ne diffère pas sensiblement de celle que présenteront ces appareils sur le courant de haute fréquence à mesurer. Or, l'on sait que la résistance d'un conducteur cylindrique augmente avec la fréquence du courant qui le parcourt, et le calcul montre, qu'aux fréquences de 2,000,000 par seconde, qui peuvent être celles atteintes par les courants de haute fréquence, les fils de 1 millimètre de diamètre ont une résistance quatre fois plus grande, les fils de 2 millimètres ont une résistance seize fois plus grande; les fils de 1/10 par contre n'ont qu'une résistance 1 fois 04 plus grande. C'est en s'appuyant sur ce calcul que la maison Gaiffe, pour éviter toute erreur ou pour la rendre inférieure à 2 p. 100, s'est servie de fils dont le diamètre est compris entre 5 centièmes et 7 centièmes de millimètre. De plus, ces appareils utilisent la variation de la flèche du fil tendu qui reçoit le courant à mesurer. On sait que cette manière d'utiliser l'effet Joule augmente beaucoup la sensibilité des appareils. Le mouvement est transmis à une aiguille qui se meut sur un cadran divisé. Quant au support du fil il est fait en acier invariable Ch. Guillaume dont la dilatation est nulle.

APPAREILS DE GRADUATION ET DE COMMUTATION.

Les appareils de graduation utilisés en médecine sont de plus en plus nombreux. Ils ont pour but de permettre au médecin de faire varier à son gré l'intensité du courant employé dans un but thérapeutique. Ces appareils comprennent deux sortes d'instruments, les collecteurs d'éléments, qui servent à faire varier l'intensité des courants galvaniques en augmentant ou en diminuant le nombre d'éléments employés, et les rhéostats qui servent à graduer, non seulement les courants galvaniques, mais tous les autres courants, et dont l'usage tend à prédominer en médecine.

Quant aux appareils de commutation, ils comprennent tous les interrupteurs, les commutateurs simples, les commutateurs inverseurs, les clefs, etc., dont bien des formes sont spéciales à l'usage médical.

Un type de rhéostat à fil, exposé par la maison Gaiffe, destiné presque exclusivement aux usages médicaux, est constitué de la manière suivante : sur un tore aplati, formé d'un tube métallique recouvert de silicate de chaux, est enroulé le fil résistant, comme il le serait si l'on voulait construire un anneau de Gramme. L'un des bouts du fil enroulé sert d'entrée au courant, tandis que la sortie se fait par une manette centrale qui se déplace sur la tranche de l'anneau en question. La variation de résistance

n'est pas continue évidemment, mais elle est très petite, les tranches de chaque spire servant de plots de contact à la manette. Ces rhéostats peuvent être construits pour des résistances très petites ou très grandes, il suffit de varier la grosseur du fil enroulé, sa longueur et le diamètre du tore. L'isolement entre les fils du rhéostat et le cylindre support atteint, d'après le constructeur, 1 mégohm. On peut laisser ces rhéostats chauffer sans crainte de les voir se déformer, car ils rayonnent par toute leur surface, quelle que soit la portion du rhéostat utilisée.

La *Gordon C° Battery*, de New-York, expose un rhéostat à liquide, très utilisé en Amérique. Il est formé d'une cuve à eau, de forme losangique, et de deux lames de charbon triangulaires qui sont mobiles à charnières, sur la petite diagonale de la cuve. Lorsque le rhéostat est au maximum de résistance, les lames triangulaires de charbon sont presques horizontales et ne touchent l'eau que par leurs pointes, terminées par un peu d'éponge, aux deux extrémités de la grande diagonale de la cuve. Lorsque ce rhéostat est à son minimum, au contraire, les deux lames de charbon sont verticales, parallèles et très rapprochées. Elles sont mues toutes les deux au moyen d'une même vis à pas contrariés; c'est un appareil simple, bon marché, efficace, mais difficilement déplaçable.

Le rhéostat à eau du docteur Fontaine-Atgier se compose d'un réservoir circulaire divisé en cellules par des parois conductrices et contenant de l'eau. En prenant un plus ou moins grand nombre de ces cellules, au moyen d'un collecteur, on fait varier la résistance interposée, mais on la fait varier par à-coups et non d'une manière continue.

Le réducteur de potentiel de la maison Gaiffe est employé pour graduer le voltage des sources galvaniques ou le courant provenant d'un secteur à courant alternatif. Il est formé par une résistance disposée comme dans le potentiomètre de Clarke et parcourue par le courant de la source. C'est en dérivation sur cette résistance qu'est pris le courant devant traverser le malade. En pratique, la résistance de l'appareil est enroulée sur un tore cylindrique et des curseurs frottent sur la portion dénudée du fil. Il suffit pour que le réglage soit comparable à celui du meilleur rhéostat à liquide que le nombre des spires soit considérable.

Le réducteur de potentiel de M. Ducretet permet d'utiliser le courant continu ou le courant alternatif, distribué à 110 volts pour tous les usages et en particulier pour les usages médicaux suivants : allumage des petites lampes pour exploration, incandescence des galvanocautères à anses électro-thermiques, fonctionnement des petits moteurs, alimentation des appareils d'induction à courant faradique et enfin application du courant continu ou alternatif avec un voltage au choix du médecin. La résistance totale de l'instrument est de 110 ohms. Elle est parcourue tout entière par le courant total si bien que la dépense est de 1 ampère si le courant distribué est à 110 volts. Cette résistance est fractionnée en quatre-vingts parties égales et il existe entre deux fractions successives une différence de potentiel égale à 110/80 volts. Un curseur que l'on déplace devant l'échelle divisée permet d'intercaler, entre les deux

bornes de sortie, une résistance variable et par suite d'utiliser en dérivation une différence de potentiel depuis o jusqu'à 110 volts.

Le réducteur de potentiel de M. Radiguet est formé d'un fil résistant assez gros (1 millimètre et davantage suivant les modèles), enroulé sur une monture hexagonale à jour. Cet appareil volumineux permet d'être utilisé non seulement pour l'électrothérapie mais aussi pour l'alimentation des galvanocautères, de la lumière et des grandes bobines d'induction. Il peut être monté soit en tension comme simple rhéostat, soit en dérivation comme réducteur de potentiel.

Le commutateur inverseur de Truchot, à grande vitesse, était exposé par la maison Gaiffe. Sur l'axe d'un moteur type de 6 kilogrammètres, qu'un rhéostat permet de faire tourner de 600 à 3,000 tours à la minute et branché sur le courant de 110 volts, est monté, à une extrémité de cet axe, un inverseur circulaire parfaitement isolé de l'ensemble par de l'ivoire. Les pièces métalliques sont incrustées dans l'ivoire. Pour éviter de faire sauter les balais, au nombre de quatre, qui amènent et recueillent le courant, des précautions ont été prises par le constructeur pour que le cylindre ivoire-métal soit absolument lisse et que les balais soient soutenus près de leur point de contact par une pièce rigide agissant par l'intermédiaire d'un petit tampon de caoutchouc souple. Sans cette précaution, quels que soient le poli de l'inverseur et la vitesse du moteur, les balais peuvent entrer en vibration et l'action de l'inverseur se complique d'une série de ruptures amenant des excitations irrégulières et dans tous les cas non recherchées par le médecin.

Le métronome inverseur du docteur Bergonié était exposé à plusieurs exemplaires par la maison Gaiffe. Cet appareil, à 8 contacts mercuriels mobiles ou à quatre contacts, suivant la modification du docteur Huet, sert soit pour la production des courants rythmés, soit pour la production des courants rythmiquement inversés si utiles en électrodiagnostic. Il est formé d'un métronome qui sert de moteur pendulaire et d'un axe horizontal portant les tiges plongeantes qui s'élèvent et s'abaissent au-dessus des petites cuves plates à mercure.

Le transformateur inverseur de M. Lucas, destiné d'après l'auteur aux applications médicales et à la radiographie, est plutôt un commutateur inverseur. Il est basé sur le principe de la roue de Pouillet et se compose essentiellement de deux disques jumeaux, avec secteurs alternativement isolants et conducteurs, et de quatre ou six balais portant sur la périphérie des disques et sur leur axe commun. L'appareil permet, en se servant d'une source à force électro-motrice constante, de recueillir un courant alternatif dont la fréquence varie avec la vitesse des disques et le nombre des secteurs dont ils sont formés.

Le docteur Fontaine-Atgier a exposé un commutateur complexe, qu'il appelle machine volta-gramme. Au moyen de cette machine, étant donné un courant continu, on peut obtenir, par une série de collecteurs frottant sur des roues à secteurs alternativement isolés, des courants alternatifs, des courants monophasés et triphasés dont on peut faire encore varier la fréquence avant de les envoyer dans le corps du patient.

L'interrupteur à mouvement d'horlogerie, de la maison Rebeyrotte, porte un régulateur de Watt et fait tourner un cylindre isolant sur lequel sont fixés des plots métalliques en nombre variable par tour. Un curseur se déplaçant sur le cylindre permet de recueillir le nombre d'interruptions désirées; une aiguille indique sur un cadran le nombre d'interruptions obtenues. Ce nombre varie d'ailleurs entre 2 interruptions par minute jusqu'à 1,200. Le mouvement d'horlogerie marche deux heures.

A signaler encore l'interrupteur de sûreté exposé par M. J. Guenet et qui, bien que construit pour être appliqué aux tricycles à pétrole, peut trouver son emploi dans toute installation électrique médicale dont on veut empêcher le fonctionnement insolite en cas d'absence.

ÉLECTRODES.

Les électrodes comme leur nom l'indique, sont des instruments destinés à conduire le courant sur le corps de l'homme et à être interposés entre le conducteur d'amenée du courant et le malade lui-même.

Ces électrodes sont très variables de formes et de dimensions, quelques-unes sont très étendues, enveloppant pour ainsi dire une partie du corps ou le corps entier du malade, comme celles servant à donner les bains hydroélectriques unipolaires; d'autres, au contraire, peuvent ne présenter qu'une surface de quelques millimètres carrés ou même moins (aiguilles à épilation et pour électrolyse).

Nous ne pouvons songer à décrire ici toutes les électrodes qui ont été exposées, nous choisirons celles présentant quelque nouveauté ou une certaine importance. Nous les diviserons en électrodes de surface, électrodes pour électrolyse et électrodes pour courant de haut potentiel.

Électrodes de surface. — Ce sont celles qui sont appliquées à la surface de la peau, servant à la pénétration des courants galvaniques ou faradiques. Il y en avait un grand nombre chez Gaiffe, Hirschmann, Chardin, etc. Nous ne signalerons que celles présentant quelque nouveauté dans leur construction.

Les électrodes du professeur Moczutkovsky, de Saint-Pétersbourg, sont impolarisables. Elles consistent en un récipient globulaire en caoutchouc rempli d'ouate hydrophile en contact de laquelle arrive le conducteur. Le fond du récipient est percé d'une ouverture de 3 ou de 10 centimètres (surfaces normales de Stintzing ou d'Erb) d'où la ouate fait saillie recouverte de toile. Cette électrode étant faite de matériaux non oxydables ne donne pas lieu, d'après l'auteur, à la polarisation. D'autres électrodes construites sur le même principe, mais de formes différentes, sont également exposées par l'auteur.

Au point de vue médical, M. Neveur ne nous montre qu'un rouleau masseur destiné à être relié à un appareil faradique et à être promené sur l'épiderme. Ce rouleau, métallique et non recouvert, ne nous paraît pas sans inconvénient.

Électrodes pour électrolyse. — M. le docteur Fort nous montre ses électrolyseurs urétraux bien connus pour le traitement des rétrécissements de l'urètre. Ils sont formés d'un conducteur qui fait saillie suivant l'une des génératrices de la sonde. Cette saillie a la forme d'un triangle à sommet émoussé. D'après l'exposant, il suffirait pour faire une opération d'électrolyse de 15 à 20 secondes et de 8 à 10 m. A. Sur le même principe et utilisables par la même méthode, le même exposant a fait construire des électrolyseurs pour l'œsophage et pour le rectum.

M. J. Maisonneuve construit et expose des électrolyseurs urétraux et œsophagiens d'après le modèle préconisé par le docteur Fort; un électrolyseur urétral souple à olives de M. le docteur Gauthier et des aiguilles à épiler ainsi que des aiguilles à électrolyse qui ne présentent rien de particulier.

Chez ce même exposant nous voyons aussi une application intéressante de l'amiante à l'isolement de certaines électrodes tels que hystéromètres et autres électrodes destinées à être stérilisées. Cet isolant pouvant être fortement chauffé, la stérilisation semble devoir être parfaite.

Parmi les électrolyseurs linéaires, il faut encore noter celui construit par M. Maisonneuve et le docteur Lucas. C'est un instrument analogue à l'électrolyseur du docteur Fort pour les rétrécissements de l'urètre, mais construit spécialement pour les rétrécissements du conduit lacrymal.

Le docteur Lucas a cherché, d'autre part, à rendre stérilisables les instruments isolés devant être portés dans les tissus. Pour cela, il a employé soit le verre, lorsque les instruments en question peuvent rester rigides, soit l'amiante dans les autres cas.

La maison Hirschmann a exposé une collection complète d'électrodes formant tout un tableau. Nous y avons remarqué des électrodes normales de Eulemburg, Stintzing, Gartner, des électrodes de toute espèce, s'appliquant aux divers organes : yeux, oreilles, nez, larynx, œsophage, etc., des électrodes impolarisables et des électrodes à cataphorèse, de toutes les formes et de toutes les dimensions.

Les aiguilles et autres électrodes de petite surface, destinées aux applications de l'électrolyse, sont également très nombreuses dans l'exposition de M. Hirschmann. La plupart des aiguilles sont en platine iridié, elles sont souvent réunies deux à deux pour l'application de l'électrolyse par la méthode bipolaire. Les instruments pour l'électrolyse de l'urètre ou pour la gynécologie n'ont rien de particulier.

M. Chardin emploie pour isoler ses électrodes, de la cellulose; cet isolant permettrait des réparations très faciles des instruments.

En plus des électrodes de surface et toute une collection d'électrodes pour électrolyse, telles que aiguilles en platine iridié recouvertes de vernis isolant, hystéromètres en charbon ou autres, électrolyseurs de l'urètre, etc., la maison Gaiffe exposait une série d'excitateurs isolés, à l'aide d'ébonite si l'excitateur doit rester rigide, ou bien à l'aide d'un caoutchouc spécial souple, si l'excitateur doit être déformable. Pour construire ces excitateurs, la matière isolante est mise à l'état de pâte sur la partie métallique et cuite en place, de sorte qu'il n'y a ni joints, ni fissures, ni collage, pouvant servir de

réceptacles aux microbes infectieux. De plus, ces excitateurs peuvent être passés à l'étuve, à la seule condition de ne les toucher que refroidis. Cette méthode de construction a permis à la maison Gaiffe de faire les excitateurs bipolaires sans une vis de fixation, l'isolant monté en place maintenant les deux parties conductrices. La construction de certains de ces excitateurs, comme l'excitateur rectal-bipolaire du docteur Bergonié, dans lequel les deux pôles placés côte à côte sont ouverts pour laisser saillir une ampoule de caoutchouc destinée à transmettre à un manomètre les contractions du sphincter excité, n'a été possible que grâce à ce procédé d'isolement. La collection de ces excitateurs exposée par la maison Gaiffe, bien qu'incomplète, comportait environ deux cents types différents.

M. Ch. Verdin expose une série d'appareils destinés à l'électrophysiologie qui sont de véritables bijoux, faits avec le plus grand soin, montés sur ivoire et dorés. Ces appareils sont surtout des électrodes. Le nombre de ces électrodes contenues dans la petite vitrine de M. Verdin dépasse sûrement la centaine. Ne pouvant les décrire ici en détail, nous nous bornerons à signaler quelques-unes de celles construites depuis 1889. L'électrode exploratrice à tambour du docteur Mergier, est destinée à inscrire les réactions musculaires pendant l'électrodiagnostic fait sur le vivant. Elle se compose essentiellement d'un tampon électrode destiné à exciter le muscle et dont le soulèvement par le gonflement musculaire vient déprimer la membrane d'un tambour de Marey qui transmet à un tambour inscripteur ses propres mouvements.

Le porte-aiguilles bipolaire pour l'électrolyse du docteur Bergonié, consiste en un manche d'ébonite ou d'ivoire, traversé dans toute sa longueur par les deux conducteurs du courant. A l'une des extrémités du manche, sont fixées deux montures à baïonnette qui portent les aiguilles. A cause de cette forme des montures, les aiguilles peuvent être rapprochées ou éloignées, de manière à avoir l'écartement optimum pour le cas à traiter.

Signalons encore les signaux électro-magnétiques de Deprez, simples et doubles, les diapasons chronographes avec vibrateur électro-magnétique synchrone, les électrodes impolarisables du Professeur d'Arsonval, son chronomètre électrique pour l'étude des impressions nerveuses et quantité d'autres appareils construits avec le soin méticuleux et l'élégance caractéristique de ce constructeur.

Électrodes pour courants de haut potentiel. — Parmi les électrodes destinées aux courants de haute fréquence ou aux courants provenant des machines statiques, nous citerons : le manche excitateur du docteur Boisseau du Rocher qui permet de faire varier la longueur de l'étincelle appliquée au malade, l'excitateur à boule pour la colonne vertébrale, l'appareil à métal armé de pointes, dit *araignée de Truchot*, pour la douche statique, le demi-cercle armé de pointes pour l'électrisation de la tête. Ces appareils sont construits par la maison Gaiffe.

Lit condensateur pour courant de haute fréquence. — Ce lit exposé par la maison Gaiffe, est formé d'une chaise longue ordinaire, recouverte d'un matelas conte-

nant dans son intérieur une lame de diélectrique souple. Le dessous de la chaise longue, revêtue d'une lame métallique, forme l'une des armatures du condensateur; l'autre armature du condensateur est formée par le malade couché sur la chaise longue et dont les mains viennent serrer deux poignées réunies à l'autre pôle du solénoïde de haute fréquence. L'intensité du courant absorbée par ce condensateur, peut dépasser 100 m. A.

Dans le tableau d'accessoires exposé par M. Bonetti, nous remarquons surtout les électrodes ordinaires ou excitateurs pour l'électricité statique. Parmi ces accessoires et ces excitateurs, citons : l'araignée de Truchot, l'excitateur de Weber, l'excitateur médiat de Bergonié et le conducteur à très grand isolement pour courant de machines statiques, joint à cet excitateur.

Nous trouvons également une collection de ces électrodes à l'exposition de M. Ducretet. Elles sont à manche de verre ou d'ébonite avec boules à tous les points qui ne doivent pas donner d'effluves.

TABLEAUX DE DISTRIBUTION

MEUBLES ET TABLES D'ÉLECTROTHÉRAPIE.

Ce sont des ensembles comprenant les principales sources de courants, les appareils de mesure, de graduation et de commutation, le tout disposé avec plus ou moins de goût et d'ingéniosité pour la plus grande commodité du médecin électricien.

De plus en plus, la source unique de courant qui alimente ces appareils, est le courant des usines centrales.

Le tableau qu'expose la maison Rebeyrotte, fonctionne sur courant continu de 110 volts au moyen de lampes à incandescence, aux bornes desquelles on prend le courant destiné au malade, soit en tension, soit en dérivation. Ce tableau permet d'obtenir : du courant galvanique, du courant faradique au moyen des appareils à chariot, la lumière pour les petites lampes, les courants pour les galvanocautères, pour les moteurs, enfin le courant pour radiographie et pour la charge des accumulateurs. Il comprend tous les appareils de mesure nécessaires. Il est fait de vieil acajou avec ferrures nickelées.

Le tableau de distribution de M. Ducretet permettait d'utiliser le courant de l'Exposition de 220 volts continu pour différents usages et, entre autres, l'entretien de petits moteurs et la marche des diverses bobines exposées par la même maison. Ce tableau permettait, avec rhéostats à curseur montés en réducteur de potentiel, de réduire le voltage à 100 volts et l'intensité à 12 ampères. Il comprenait de plus 4 rhéostats convenablement groupés, un ampèremètre de 0 à 12 ampères, un voltmètre de 0 à 120, un commutateur bipolaire pour le courant d'entrée à 220 volts et un commutateur simple pour le courant réduit, des plombs fusibles et des bornes.

Le tableau de distribution pour le même usage de la maison Gaiffe permettait d'utiliser le courant de 220 volts fourni par l'administration de l'Exposition pour faire

IMPRIMERIE NATIONALE.

marcher les moteurs de 110 volts de cette maison, ainsi qu'une série d'autres appareils utilisés dans les meubles électrothérapiques également exposés par la maison, et devant être branchés sur 110 volts. Pour cela, une batterie de 55 accumulateurs était montée en tension sur ces divers appareils. L'emploi des moteurs, ainsi que de la transformatrice de courant continu en alternatif pour la haute fréquence, a suffi pour entretenir la batterie en état de charge, tout en donnant par cette batterie, une source indépendante.

Un autre tableau exposé par la maison Gaiffe est destiné à être branché directement sur le secteur à courant continu et permet d'avoir : le courant galvanique, le courant pour l'éclairage des petites lampes, et, avec l'addition d'une batterie d'accumulateurs, le courant pour l'alimentation des cautères. Il comprend un réducteur de potentiel auquel est adjoint une lampe rhéostat permettant d'allumer des lampes de 2 à 16 volts et jusqu'à deux ampères d'intensité. Pour l'application des courants galvaniques, il permet d'utiliser jusqu'à 24 volts; pour ce dernier cas, il comprend 1 milliampèremètre. Les accumulateurs se chargent sur le circuit avec deux lampes comme rhéostat. Ce tableau est destiné aux applications de l'électricité dans l'otologie et la laryngologie.

La maison W.-A. Hirschmann, de Berlin, a exposé une série de meubles de cabinet qui répondent à toutes les exigences des applications thérapeutiques et diagnostiques de l'électricité. Le premier de ces meubles, le plus important, est sous forme d'un bureau pouvant être recouvert en dehors de l'usage. Il porte sur la table horizontale, en même temps que la bobine à courant faradique, tous les appareils de graduation, de commutation ou de mesure qui sont nécessaires. Dans les tiroirs du meuble, peuvent prendre place les électrodes, et le buffet du meuble peut contenir soit des accumulateurs, soit des piles. Toute la partie haute est occupée par la machine statique du même constructeur décrite plus haut.

Un autre appareil de cabinet exposé par W.-A. Hirschmann, d'une exécution plus simple, est formé d'une table à recouvrement qui porte également, avec la bobine faradique, tous les appareils de graduation, de commutation et de mesure. L'appareil peut être alimenté par des fils venant d'une source quelconque, soit piles, accumulateurs ou distribution de courant continu.

Le meuble pour l'électrothérapie, qu'expose la maison Rebeyrotte, est en bois noir. Il a la forme d'un bureau ministre et comprend : un appareil à courant faradique et un appareil à courant galvanique avec 60 éléments au sel ammoniac, des bornes pour lumière, cautères et un dispositif permettant d'envoyer le courant à une bobine pour rayons X.

L'appareil d'induction de ce meuble est décrit plus haut. Quant à la source de courant galvanique, elle consiste en éléments Leclanché réunis à un collecteur à double cadran. Sur le trajet du courant sont aussi disposés deux rhéostats à fil fin, un commutateur permettant d'avoir, aux mêmes bornes, soit le courant faradique, soit le courant galvanique, un inverseur et un interrupteur à mouvement d'horlogerie décrit

plus haut. A ces appareils de commutation sont joints des appareils de graduation et de mesure, tels que milliampèremètre, voltmètre et ampèremètre. Tous ces instruments sont nickelés.

La table d'électrothérapie de M. Radiguet est destinée à être branchée sur courant continu de 110 volts. Elle comprend un premier rhéostat très volumineux occupant tout un côté de la table et destiné à être monté comme réducteur de potentiel sur le circuit de 110 volts. C'est en dérivation sur ce rhéostat que sont pris les différents circuits de la table, circuits dont chacun porte un rhéostat en tension. On trouve aussi sur la table, le rhéostat pour l'électrolyse et le rhéostat pour lumière et courant faradique; puis viennent des commutateurs, coupe-circuits, inverseurs et appareils de mesure. En résumé, cette table donne avec le courant de 110 volts les courants galvaniques, les courants faradiques, l'éclairage des petites lampes, le courant pour galvanocautères et le courant pour rayons X.

En fait de meubles pour l'électrothérapie, l'exposition de M. Gaiffe comportait trois modèles de grands appareils complets. Le premier était un grand panneau en acajou verni destiné à être fixé au mur comme un tableau de distribution. Sur ce panneau, un réducteur de potentiel permettait d'employer le courant continu de 110 volts pour courant galvanique avec milliampèremètre à deux sensibilités et voltmètre. Un appareil à chariot, avec trois bobines enroulées de fils différents et trembleur, donnait le courant pour faradisation. Un condensateur réglable de 1/4, 1/2 ou 1 microfarad avec clef de charge et décharge automatique et clef à main, donnait l'excitation par décharge du condensateur. Les courants sinusoïdaux venant d'une dynamo spéciale arrivaient aussi sur le tableau et étaient réglés par un réducteur de potentiel avec milliampèremètre à courant alternatif. Des bornes spéciales donnaient l'allumage et le réglage des lampes d'exploration, tandis que des galvanocautères étaient alimentés par trois accumulateurs chargés sur les 110 volts du secteur. Enfin, un métronome interrupteur inverseur, modèle du docteur Bergonié, pouvait être placé sur l'un des courants allant au malade.

Un second meuble en noyer ciré, exposé par la même maison, comportait exactement les mêmes appareils, moins les courants sinusoïdaux.

Enfin, un meuble en noyer ciré, plus simple, contenant des piles comme source de courant galvanique, constituait le troisième modèle.

Chacun de ces appareils comporte la série de manettes nécessaires à la mise en route des appareils et ces manettes, couplées par 2, 3 ou 4, sont disposées de telle sorte qu'on ne puisse jamais faire de fausse manœuvre.

En outre, le circuit inducteur de l'appareil à courant faradique fonctionne sur 110 volts à l'aide d'une lampe rhéostat et d'une résistance de dérivation, la première abaissant les volts à la valeur voulue et la seconde empêchant les ruptures de se faire sur 110 volts.

Enfin, chacun de ces modèles possède un combinateur de Watteville et une clef d'exploration et d'inversion du docteur Courtade.

DEUXIÈME CLASSE.

APPLICATIONS INDIRECTES DE L'ÉLECTRICITÉ À LA MÉDECINE.

RAYONS X.

Ainsi que nous l'avons dit au début, les applications indirectes de l'électricité à la médecine comprennent toutes celles dans lesquelles l'énergie électrique est transformée avant d'être utilisée par le médecin.

Les *rayons X* découverts par Roentgen, en 1895, sont l'une de ces applications indirectes, dont l'importance tend à s'accroître de jour en jour en médecine. Les corps radiants pourront peut-être remplacer plus tard l'électricité pour produire les rayons X, mais aujourd'hui toutes les applications de ces rayons à la médecine ne se font que grâce au courant électrique.

Parmi les appareils exposés destinés aux rayons X, nous décrirons d'abord les générateurs d'électricité employés, comprenant :

1° Les bobines de Ruhmkorff;

2° Les interrupteurs;

3° Les tubes de Crookes;

4° Enfin les appareils accessoires, tels que : supports de tubes, écrans fluorescents, mesureurs d'étincelle, condensateurs, etc.

BOBINES DE RUHMKORFF.

Les bobines de Ruhmkorff, construites par la maison Siemens et Halske, sont de forme extérieure cylindrique, le primaire ne faisant pas une saillie notable à l'extrémité du secondaire. Les joues de ces bobines reposent sur des supports de bois, qui les élèvent notablement au-dessus de leur socle contenant le condensateur. La maison Siemens et Halske est l'une des rares inscrivant sur le socle de ses bobines les diverses constantes de l'instrument; ainsi, par exemple, sur une bobine donnant 0 m. 40 d'étincelle, nous trouvons :

Nombre de tours du primaire	315 tours.
Résistance du primaire	0,1 ohm.
Section du primaire	9,5 millim. carrés.
Nombre de tours du secondaire	80,000 tours.
Résistance du secondaire	40,000 ohm.
Section du secondaire	0,018 millim. carrés.

Quelques-unes, parmi les bobines exposées par la même maison, ont leur primaire sectionné en deux parties. On se sert de l'une de ces parties seulement avec un in-

terrupteur à mercure, genre Foucault; l'on se sert de tout le primaire, au contraire, avec un interrupteur de Wehnelt et un voltage de 110 volts.

Les bobines d'induction de l'Allgemeine elektricitäts Gesellschaft, de Berlin, sont exposées à un grand nombre d'exemplaires, depuis les modèles donnant 0 m. 20 d'étincelle jusqu'aux modèles de 0 m. 60. Elles ont la forme cylindrique, le primaire dépassant largement en longueur le secondaire. Elles sont portées au niveau du tube d'ébonite épais, qui isole le primaire, par des demi-colliers en bois fixés au-dessus du socle contenant habituellement le condensateur. Ces bobines peuvent être montées soit avec des interrupteurs à marteaux, soit avec des interrupteurs à mercure, ou encore avec l'interrupteur à turbine qui est un modèle spécial de cette maison. D'après le constructeur, ces bobines pourraient donner, avec un interrupteur à mercure faisant 100 interruptions à la minute et avec une intensité moyenne de 3 ampères :

Étincelle sur 12 volts.....	0m 15	Étincelle sur 20 volts.....	0m 30
Étincelle sur 14 volts.....	0 20	Étincelle sur 24 volts.....	0 40
Étincelle sur 16 volts.....	0 25	Étincelle sur 28 volts.....	0 50

ce qui ferait, comme énergie dépensée : 36, 42, 48, 60, 72 et 84 watts pour les diverses longueurs d'étincelles signalées.

Les bobines d'induction exposées par la maison Hirschmann, de Berlin, donnent 30, 40 et 50 centimètres de longueur d'étincelle. Ces bobines ont l'aspect ordinaire des bobines allemandes avec noyau inducteur, beaucoup plus long que la bobine induite.

Elles sont faites pour être reliées aux distributions de ville pour courant continu de 110 et 220 volts. Elles peuvent aussi fonctionner au moyen d'accumulateurs et à des voltages inférieurs; à partir de 12 volts pour des bobines de 25 centimètres d'étincelle.

Les bobines d'induction de la maison Max Kohl, de Chemnitz, sont construites de manière à pouvoir séparer rapidement la bobine primaire de la bobine secondaire. La bobine primaire est entièrement revêtue d'un manchon en caoutchouc durci; quant à la bobine secondaire, revêtue elle aussi d'une enveloppe complète d'ébonite, l'isolement intérieur en serait fait, d'après le constructeur, avec un diélectrique très mou. Ces bobines ne sont pas fixées à la boîte du condensateur, mais simplement supportées au niveau de leurs joues par deux montants garnis de gorges.

Le docteur Max Lévy, de Berlin, expose une grande bobine de Ruhmkorff, donnant 1 mètre d'étincelle. Cette bobine a l'aspect des grandes bobines allemandes; elle est cylindrique, autant que possible dégagée de tout support, le noyau inducteur dépassant beaucoup l'induit. Entre l'inducteur et l'induit, se voit un tube d'ébonite destiné à renforcer l'isolement entre la bobine induite et la bobine inductrice. Ce tube d'ébonite, n'est pas là seulement à cause de l'isolement, mais on l'a rendu mobile, et dans le cas où il aurait été percé par l'étincelle, il est facilement remplaçable, ce qui représente un avantage appréciable. Cette bobine est faite pour être alimentée avec un inter-

rupteur quelconque, mais de préférence avec l'interrupteur rotatif à mercure étudié par l'exposant.

La maison Klingelfuss, de Bâle, a exposé deux types de bobines de Ruhmkorff. Le premier comprend une très grande bobine, la plus grande probablement de toute l'Exposition, dont le primaire a 2 m. 50 environ de longueur, la distance entre les deux parachutes du secondaire étant de 1 mètre. Nous n'avons pu voir fonctionner cette bobine. Le second type de la maison Klingelfuss est un transformateur à noyau magnétique fermé, destiné à l'alimentation des tubes de Crookes pour rayons X. C'est le seul appareil de ce genre de l'Exposition. Ce transformateur est construit pour donner une étincelle de 30 à 40 centimètres; d'après le constructeur, cette étincelle serait particulièrement volumineuse et chaude.

Cette maison avait également exposé un grand nombre d'appareils pouvant intéresser le médecin électricien et la médecine en général, mais dans d'autres classes que la Classe 27.

Les bobines de Ruhmkorff, construites par la maison Ducretet, sont destinées soit à la production des rayons X, soit à la télégraphie *hertzienne* sans fil. Elles sont le plus souvent actionnées par des batteries d'accumulateurs et satisfont à toutes les conditions d'isolement exigées de ces appareils. M. Ducretet a, le premier, donné aux fortes bobines la disposition en boîtes. Cette boîte, dans laquelle se trouve le circuit induit de la bobine, est entièrement remplie d'une matière très isolante sous une grande épaisseur; les causes de fuite du courant sont ainsi évitées et les bobines sont plus transportables. Le dessus des boîtes est fermé par une planche d'ébonite que dominent les parachutes de la bobine.

Sur ce modèle étaient construites deux bobines exposées, donnant l'une 0 m. 26 d'étincelle, et l'autre 0 m. 50.

Mais la bobine de M. Ducretet qui attirait le plus les regards était celle donnant 0 m. 80 d'étincelle, construite à peu près sur le même modèle que les précédentes, mais avec un souci particulier de l'isolement. Cette bobine était alimentée par l'interrupteur rotatif à mercure décrit plus loin.

La construction des bobines d'induction de M. Rochefort diffère complètement de la constructon courante de ces appareils. M. Rochefort utilise, en effet, pour l'isolement de ses bobines, un diélectrique visqueux, dont la composition est maintenue constante par un procédé qui est la propriété même du constructeur. Grâce à ce diélectrique visqueux, la construction de la bobine de Ruhmkorff a pu être considérablement simplifiée par M. Rochefort. L'inducteur, fait à la manière ordinaire, est enfermé dans un tube isolant; mais au lieu des nombreuses galettes du secondaire enfilées sur l'inducteur et séparées par des couches de diélectrique solide, galettes comportant un grand nombre de kilomètres de fil, M. Rochefort n'emploie qu'une seule bobine induite pesant 600 grammes, en fil de 16 centièmes, pour obtenir 20 à 22 centimètres d'étincelle. Cette bobine est maintenue sur la région médiane du primaire et le tout est enfermé dans un vase de verre que l'on remplit d'un isolant carburé pâteux. Le vase de verre est

cylindrique et percé sur une même génératrice de deux orifices par lesquels sortent les parachutes de la bobine. Le rendement de l'appareil ainsi construit, bien que difficile à mesurer scientifiquement, comme le rendement de toute bobine de Ruhmkorff, paraît cependant supérieur, si l'on considère la longueur de l'étincelle obtenue, au rendement de la bobine de Ruhmkorff construite à la manière ordinaire. En effet, avec 6 volts et 3 ampères 5, M. Rochefort obtient des étincelles très nourries de 0 m. 20 à 0 m. 22.

Le vase de verre contenant la bobine, ou le transformateur de M. Rochefort, est lui-même renfermé dans un vase cylindrique en bois verni d'où sortent, sur la base supérieure, les bornes du primaire, et, sur une même génératrice verticale, les bornes du secondaire. A cet appareil est joint un condensateur réglable, dont on peut modifier la capacité, suivant l'intensité du courant absorbé par le transformateur, au moyen de fiches pouvant être déplacées sur des plots *ad hoc*.

Nous ne ferons que signaler ici les bobines de M. Ropiquet, exposées chez M. Rebeyrotte, et dont le principe est intéressant. Sur le noyau de fer est enroulé, à ses extrémités seulement, le fil inducteur, tandis que le fil induit occupe le centre du noyau. Ces bobines sont isolées au moyen d'un isolant liquide ou pâteux et paraissent avoir un rendement élevé.

M. Ropiquet n'est pas porté sur la liste des exposants de la Classe 27.

La bobine que nous trouvons dans l'exposition de M. Bonetti donne 0 m. 35 d'étincelle; elle est de forme cylindrique avec joues de verre retenues par une corde à boyau qui passe sur une rainure creusée dans la joue, comme dans les anciens modèles des ateliers Ruhmkorff. Cette bobine comporte un interrupteur à mercure genre Foucault. Dans la bobine de 0 m. 25, exposée par le même constructeur, l'interrupteur est un interrupteur à trembleur de Neef.

Les bobines de la maison Gaiffe, construites avec un nombre considérable de galettes isolées, sont enfermées dans des boîtes en bois d'acajou. Les parachutes de la bobine limitent la longueur de l'étincelle à l'air libre et indiquent, par leur distance, la longueur maxima d'étincelle que la bobine peut fournir. Cette étincelle maxima est donnée par les bobines avec des courants d'intensité variable, suivant la dimension de la bobine. La puissance absorbée peut aller, d'après le constructeur, de 80 watts pour la bobine de 0 m. 15 à 280 watts pour la bobine de 0 m. 35 d'étincelle.

Lorsqu'on a affaire au courant alternatif ou aux bobines de Ruhmkorff, grand modèle, le système d'isolement par l'air est insuffisant et une partie du courant est perdue par effluves. Un nouveau modèle de condensateur, dû à M. d'Arsonval, exposé par la maison Gaiffe, est formé de feuilles de fer-blanc et de feuilles de verre et plongé tout entier dans le pétrole; on évite ainsi presque complètement ces pertes.

La bobine d'induction de M. Radiguet a pour caractéristique d'avoir une enveloppe et des joues en ébonite et d'être montée dans un lit de paraffine creusé, pour ainsi dire, sur un socle d'acajou. Sous le socle, se trouve le condensateur de la bobine et sur le côté les fiches permettant d'en graduer la capacité.

Dans les modèles exposés, M. Radiguet fait fonctionner devant le public une immense bobine de Ruhmkorff enfermée dans une sorte de bac en verre, ayant une longueur de deux mètres environ et donnant 0 m. 80 d'étincelle.

INTERRUPTEURS.

Un bon interrupteur est l'auxiliaire indispensable de la bobine de Ruhmkorff. A mesure que l'on a demandé davantage à la bobine, depuis que son emploi s'est tant répandu après la découverte de Rœntgen, les interrupteurs ont dû répondre à des besoins nouveaux et à l'emploi de puissances plus élevées.

On peut diviser les interrupteurs en général, et, par conséquent, les interrupteurs exposés, en deux grandes catégories :

1° Les interrupteurs métalliques dans lesquels la rupture et la fermeture du courant s'opèrent entre deux pièces de métal.

2° Les interrupteurs électrolytiques dans lesquels un électrolyte intervient comme l'un des conducteurs au moins au niveau duquel s'effectuent les ruptures et les fermetures du circuit.

Les interrupteurs métalliques se divisent eux-mêmes en interrupteurs métalliques solides et en interrupteurs à mercure. Parmi les interrupteurs à mercure, quelques-uns sont à tige oscillante, du genre de celui établi d'abord par Foucault, d'autres sont commandés par un moteur rotatif. Une troisième catégorie enfin, utilise un jet de mercure provenant d'une turbine pour établir ou rompre le contact.

Interrupteurs métalliques à marteau ou à trembleur. — Les interrupteurs métalliques dits *à marteau ou à trembleur,* connus en Allemagne sous le nom d'interrupteurs de Wagner ou d'interrupteurs de Neef, ne sont guère utilisés pour les grandes bobines de Ruhmkorff destinées à l'excitation des tubes de Crookes ou des appareils de haute fréquence; nous les retrouvons cependant à l'Exposition chez quelques constructeurs. Citons entre autres parmi les modèles exposés :

L'interrupteur pour grande bobine d'induction exposé par M. Radiguet, qui est mû, comme les anciens trembleurs de Neef, par l'attraction des électros dans lesquels le courant est rompu et rétabli en même temps que dans le circuit secondaire de la bobine. Cet électro peut s'élever ou s'abaisser et l'on peut faire varier ainsi à volonté la course de l'armature et, par suite, l'amplitude du mouvement de la tige qui établit le contact. Ce contact est l'une des particularités du trembleur de M. Radiguet ; il s'établit entre deux grosses tiges de cuivre dont l'une, fixe, sert d'enclume, et l'autre tient à l'armature et agit comme un pilon sur la première. Afin que le contact soit aussi long que possible et que la rupture soit cependant très brusque, des ressorts en arc double sont interposés entre la tige oscillante et la masse de cuivre qui fait marteau. Le tout est plongé dans un godet de grande capacité rempli de pétrole ordinaire. Cet interrupteur est peut-être un peu bruyant, mais fonctionne très bien.

Le trembleur D'ARSONVAL-GAIFFE est du genre Neef dans lequel on a rendu un des contacts mobile pour éviter les collages entre les deux platines. Pour cela le platine du trembleur restant dans sa forme ordinaire, le platine de la vis de réglage est monté sur un axe qui tourne entraîné par un moteur électrique. Le diamètre de ce platine est double de celui du trembleur. Leurs positions respectives sont telles que le plus petit est excentré par rapport au plus grand ; il s'ensuit que la surface en contact se renouvelle continuellement et que les collages sont détruits par la rotation.

L'interrupteur à marteau de l'*ALLGEMEINE ELEKTRICITÄTS GESELLSCHAFT* est monté sur l'extrémité du noyau de fer de la bobine construite par cette maison, au moyen d'un dispositif très simple consistant en un collier et une vis de serrage. Cet interrupteur est très pratique. Un modèle un peu plus compliqué et permettant d'augmenter la durée du passage du courant est aussi exposé par cette maison.

Citons encore l'interrupteur de la maison SIEMENS ET HALSKE, qui est du genre Depretz bien connu et autrefois très employé.

Interrupteurs à mercure genre Foucault. — L'interrupteur à mercure de Villard a été construit par M. CHABAUD sous trois formes différentes. Le petit modèle donne 20 à 22 interruptions par seconde et met en jeu l'action électro-dynamique d'un aimant sur un conducteur parcouru par un courant. Le conducteur parcouru par le courant est une tige vibrante venant faire contact par son extrémité dans un godet à mercure et passant en son milieu entre les mâchoires polaires d'un aimant permanent. Le champ magnétique étant très concentré, l'action électro-dynamique est intense et la tige continue à osciller lorsqu'on lui a imprimé un premier mouvement. Une masse auxiliaire sert au besoin à réduire la fréquence comme dans l'interrupteur de Foucault.

Dans l'interrupteur grand modèle de Villard, construit par M. CHABAUD, la disposition générale de l'appareil est la même que dans l'appareil précédent, mais la lame vibrante est remplacée par un diapason donnant 40 à 45 vibrations doubles par seconde. La mise en marche ne pouvant se faire à la main, se fait par une manette spéciale disposée à cet effet et qui sert en même temps de commutateur.

L'interrupteur pour courant alternatif, du même exposant, présente la disposition générale de l'interrupteur précédent, mais il est à excitation séparée. Un diapason porte deux masses mobiles qui permettent de l'accorder exactement à la fréquence du courant alternatif. Au moyen d'un petit transformateur à décalage dont on fait varier la self, on obtient ce résultat que l'interruption se produit toujours au moment où le courant qui traverse la bobine est à son maximum d'intensité, et sur toutes les alternances de même sens ; c'est comme si la bobine était alimentée avec des courants continus. Le réglage une fois fait pour une distribution donnée du courant alternatif, on n'a plus à y toucher. On ne peut faire varier, il est vrai, le nombre d'interruptions par seconde, qui ne dépend que de la fréquence du courant de l'usine productrice, mais cette fréquence est toujours suffisante (40 secondes au minimum) pour permettre de bonnes observations radioscopiques.

L'interrupteur de M. Rochefort, qu'il appelle *interrupteur oscillant à mouvement rectiligne par guide liquide*, est un interrupteur à mercure genre Foucault. Comme dans celui-ci, le moteur est un électro-vertical, qui donne un mouvement oscillatoire à un levier horizontal portant l'armature. La partie neuve et originale de cet interrupteur est la manière dont le mouvement circulaire de la tige plongeante est rendu rectiligne. M. Rochefort est arrivé à ce résultat en faisant le haut de cette tige très flexible par un amincissement approprié dans le plan perpendiculaire au plan de flexion. L'inertie du liquide maintient alors la tige dans le même plan vertical et le mouvement de pelle, qui fait d'ordinaire sauter les liquides (mercure et isolant), est ainsi radicalement évité. Ce qui le prouve, ce sont les ondes liquides qui se forment à la surface de l'isolant et qui toutes sont absolument concentriques. L'interrupteur de M. Rochefort peut donner, d'après de constructeur, jusqu'à 35 oscillations par seconde. Sa vitesse est réglable au moyen d'une masse mobile et sa consommation de courant est très faible.

La maison Siemens et Halske présente un interrupteur à mercure genre Foucault, pour courant de 12 à 30 volts et pour longue durée de fonctionnement. L'appareil peut être monté avec levier oscillant et avec deux godets, ou bien encore peut être mû par un excentrique entraîné par un moteur toujours avec deux godets, l'un d'eux, le plus petit, servant d'amenée du courant, tandis que le deuxième, le plus grand, sert à produire les interruptions.

L'interrupteur à mercure genre Foucault de l'*Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft* se fixe par un collier sur l'extrémité du noyau magnétique de la bobine. C'est ce noyau qui, attirant l'armature flexible placée devant lui, fait sortir la tige du mercure et provoque l'interruption. On ne pourrait imaginer un interrupteur de Foucault plus simple.

Interrupteurs à mercure, à moteur rotatif. — Les interrupteurs de cette classe pour grandes bobines de Ruhmkorff, construits par M. E. Ducretet, sont de plusieurs types différents. Le premier type est un interrupteur à moteur, à quatre bobines induites, monté sur colonne métallique et commandant, par l'intermédiaire d'un excentrique, un système mécanique transformant le mouvement rotatif en mouvement alternatif de va-et-vient. L'interruption se produit entre une tige de cuivre et un large bain de mercure reconvert de pétrole. L'arrivée du courant, dans le dernier modèle de cet interrupteur, est obtenue par un deuxième godet à petite section contenant du mercure dans lequel plonge une tige mobile avec celle produisant l'interruption. Le socle de cet interrupteur est en ardoise et porte un inverseur du courant principal, un fusible et un coupe-circuit pour le courant du moteur; ce dernier courant pouvant être pris en dérivation sur le premier. Ce modèle d'interrupteur est l'un des plus employés en France.

Un deuxième modèle d'interrupteur est à mouvement de sonnerie électrique; il est entièrement métallique, très robuste, mais ne permet pas les grandes variations de vitesse que donne le modèle précédent.

Enfin, M. Ducretet construit un interrupteur à disques rotatifs, utilisé surtout pour les grandes bobines donnant 50 centimètres et 80 centimètres d'étincelle. Cet interrupteur est formé de deux disques métalliques plongeant chacun dans un large godet à mercure ; l'un des disques est plein, c'est lui qui amène le courant, l'autre disque est étoilé et c'est sur chacune des branches de ses étoiles que l'interruption se produit. On peut d'ailleurs régler la plongée du disque étoilé dans le mercure. Un arbre commun fait tourner ces deux disques et est relié à un petit moteur électrique à vitesse variable. Les interruptions du courant avec cet appareil peuvent être très rapides tout en assurant une certaine durée du contact du disque étoilé avec le mercure du godet. Le tout plonge dans un liquide isolant, comme du pétrole, et est très robustement construit.

L'interrupteur de la maison Max Kohl, de Chemnitz, est un modèle à mercure et à plongeur mû par un moteur électrique. Il présente ceci de particulier que, tandis que l'une des extrémités de l'axe du moteur électrique est reliée avec la partie mécanique transformant le mouvement de rotation en un mouvement vertical de va-et-vient, l'autre extrémité de ce même moteur entraîne un tachymètre donnant à chaque instant la vitesse du moteur en tours par seconde et, par conséquent, le nombre d'interruptions.

L'interrupteur pour radiographie et radioscopie de la maison Rebeyrotte est à mouvement d'horlogerie et du genre Foucault. La marche en est réglée par un régulateur à boules et l'appareil est muni d'un volant.

L'interrupteur à mercure et moteur de l'*Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft* est basé comme toujours sur le principe de l'excentrique, mais il ne comporte qu'un godet, le contact étant pris par glissement au niveau d'un cylindre accompagnant la tige plongeante deux fois recourbée à angle droit.

L'interrupteur à mercure et moteur de la maison Gaiffe consiste en un moteur électrique entraînant par une came un support guidé par des glissières et lui faisant parcourir verticalement 15 millimètres environ à une vitesse variable de 10 à 50 périodes par seconde. Ce support reçoit un cavalier en cuivre rouge qui plonge dans deux godets à mercure. L'un de ces godets sert simplement à amener le courant au cavalier de façon à éviter les contacts par flexion; dans l'autre godet se fait l'interruption dans le pétrole. Ce dernier godet est réglable de façon à faire varier la plongée du cavalier suivant la vitesse de la source. Un dispositif à chambre à air empêche le pétrole d'être projeté par des étincelles de rupture.

Le même appareil avec deux systèmes semblables aux deux extrémités de l'arbre du moteur, calés à 180 degrés, permet de doubler le nombre des interruptions pour la même vitesse du moteur.

Interrupteurs à mercure à turbine. — Les interrupteurs dans lesquels le contact s'effectue par un jet de mercure sont très employés en Allemagne, et l'Exposition en présente des modèles variés. Les avantages que l'on peut reconnaître à ce genre

d'appareils sont les suivants : au point de vue mécanique, utilisation directe du mouvement de rotation des moteurs électriques; en second lieu, marche silencieuse; en troisième lieu, impossibilité de mettre par erreur le primaire de la bobine en court-circuit, car le courant ne peut passer que si l'interrupteur fonctionne; enfin variation, dans de grandes limites, du nombre des interruptions et variation indépendante de la période de fermeture du courant.

L'interrupteur du docteur Max Lévy à filet de mercure se compose d'une couronne dentée cylindrique en cuivre, contre les dents de laquelle le filet de mercure vient buter. Ce filet de mercure est produit par une pompe à augets tournant avec la couronne cylindrique fixée sur le même axe et reliée par une poulie et une courroie à un moteur électrique placé sur le socle de l'appareil. Le mercure vient buter alternativement sur la partie métallique pour passer par les fenêtres de la couronne cylindrique, d'où fermeture et ouverture successives du courant.

L'interrupteur permet, en cours de marche, d'augmenter ou de diminuer, suivant les besoins, la durée des fermetures du courant; on peut aussi faire varier le nombre des contacts dans l'unité du temps, soit en faisant tourner plus vite la couronne cylindrique, soit en modifiant le nombre de ces découpures. Le vase de verre qui contient tout l'instrument est rempli de pétrole et le nettoyage de l'appareil est facile.

L'interrupteur turbine à mercure de l'*Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft* est l'un des plus anciens parmi ces appareils et aussi l'un des plus robustes. Il se compose d'un socle de fonte sur lequel sont fixés, d'un côté, un moteur électrique à axe vertical, de l'autre côté, l'interrupteur-turbine proprement dit, à axe également vertical et réuni au moteur qui l'entraîne par une courroie. Dans l'intérieur on trouve une pompe à force centrifuge prenant le mercure au fond d'un vase de fonte et le projetant par un orifice sur un disque à dents placé sur le même niveau. Le disque peut être changé de manière à avoir un nombre d'interruptions variable par tour de moteur. Certains disques sont à 12 dents et, d'après le constructeur, on peut varier le nombre des interruptions de 10 à 1,000 par seconde. L'appareil est rempli d'alcool ou de pétrole, et c'est dans ce diélectrique que s'effectuent les interruptions.

Il y avait à l'Exposition, plusieurs modèles de ces appareils, dont un pour courant alternatif avec moteur synchrone, qui pouvait interrompre le courant alternatif toujours au sommet d'un même système d'ondes, et par conséquent alimenter une bobine comme si elle l'eut été avec du courant continu.

L'interrupteur à jet de mercure exposé par la maison Hirschmann se compose d'un axe renflé à sa partie inférieure, de manière à former une cavité dont l'extrémité plonge dans le mercure d'un récipient complètement clos. Cet axe, entraîné au moyen d'une poulie et d'une courroie, dont le trajet vertical en partant du moteur devient horizontal au moyen de deux galets de renvoi, cet axe, disons-nous, projette du mercure par un orifice étroit percé dans sa cavité inférieure, contre une tige de charbon aplatie qui forme l'autre pôle. Le tout est rempli d'un liquide diélectrique, alcool ou pétrole. Le nombre d'interruptions par minute dépend de la vitesse du moteur; il peut aller, d'après

le constructeur, jusqu'à 6,000 par minute. Quant au moteur entraînant l'axe de l'interrupteur, il peut être enroulé pour 110 volts ou un autre voltage quelconque.

Interrupteurs électrolytiques. — On sait que les interrupteurs électrolytiques, dont le premier modèle a été imaginé par Wehnelt, reposent sur le principe de la production instantanée d'un gaz au sein d'un électrolyte et au point où la densité du courant est maxima. Le gaz produit interrompt le circuit, s'échappe, est remplacé par l'électrolyte, ce qui rétablit la continuité du circuit, et ainsi de suite. L'électrolyse n'intervient que secondairement et c'est plutôt à une action calorifique du courant qu'est due son interruption par les gaz formés. Si l'on pouvait avoir un corps simple, bon conducteur, liquide, à point d'ébullition pas trop élevé, il conviendrait parfaitement pour le Wehnelt.

Dans l'interrupteur Wehnelt, le courant est amené dans l'électrolyte par une anode en platine. C'est au niveau de cette anode que la densité du courant est maxima; c'est donc à son niveau également que se produisent les interruptions.

Dans l'interrupteur électrolytique, appelé interrupteur Simon, en Allemagne, et interrupteur Caldwell, en Angleterre, la densité maxima du courant se trouve au niveau d'un ou de plusieurs orifices percés dans un vase isolant séparant l'électrolyte en deux compartiments distincts. C'est donc au niveau de ce ou de ces orifices que se développent les gaz; c'est à leur niveau également que s'effectue l'interruption du courant.

On connaît les avantages et les inconvénients des interrupteurs électrolytiques. Les avantages sont : 1° la suppression du condensateur; 2° l'augmentation considérable du nombre d'interruptions par seconde; 3° l'utilisation directe, presque sans rhéostat, des courants de Ville; 4° le bas prix de l'appareil. On utilise le Wehnelt de 20 à 130 volts, le Simon-Caldwell de 110 à 250. Les inconvénients sont : 1° la dépense considérable d'énergie qu'ils nécessitent, énergie qui, dépensée en pure perte dans l'appareil, produit un échauffement la plupart du temps nuisible à son bon fonctionnement; 2° le bruit de ronflement et les vapeurs acides dégagées; 3° l'influence qu'a le régime du courant induit sur le nombre des interruptions de l'interrupteur électrolytique. Par exemple, au cours d'une radiographie ou d'une radioscopie, le tube dont on se sert devient-il mou ou dur, immédiatement le son produit par le Wehnelt ou le Caldwell se modifie, indiquant ainsi que le nombre d'interruptions change.

Dans le modèle d'interrupteur de Wehnelt, construit par la maison Siemens et Halske, l'électrode positive de petite surface et l'électrode négative sont, comme dans l'interrupteur de Wehnelt, modèle du professeur Elihu Thomson, réunies en une seule et même pièce et fixées au couvercle. On n'a plus alors qu'un récipient de verre et un couvercle portant les deux électrodes, dont on coiffe le récipient rempli d'eau acidulée. L'électrode positive constituée par un fil de platine assez fin, émerge d'un gros crayon en porcelaine, et l'on peut en faire varier la longueur utile au moyen de la vis molletée du couvercle. Un bec de trop-plein, soudé au crayon de porcelaine, empêche le liquide acide de s'élever vers les parties métalliques, qui seraient attaquées sans cette précaution. C'est

là un perfectionnement reconnu aujourd'hui comme indispensable. Cet interrupteur est fait pour des tensions de 40 à 150 volts, mais c'est à la tension de 110 volts et sur les bobines de la même maison qu'il a donné les meilleurs résultats.

Dans l'interrupteur électrolytique, type Caldwell de la maison Siemens et Halske, le vase extérieur est en verre et une électrode négative en plomb y amène le courant. Dans ce premier vase en est un autre, ayant la forme d'une grosse éprouvette de chimiste à fond rond et en porcelaine. Ce fond est percé de petits orifices au nombre de 2, 4 ou plus, au niveau desquels se produit l'interruption. Le haut de l'éprouvette porte une tubulure de trop-plein, afin de déverser dans le vase extérieur le liquide qui tend à s'élever pendant le fonctionnement de l'interrupteur. C'est dans l'éprouvette en porcelaine qu'arrive la deuxième électrode également en plomb. Les deux électrodes et l'éprouvette en porcelaine sont fixées à un couvercle d'ébonite qui vient coiffer le vase extérieur. Les orifices percés dans le vase en porcelaine semblent mieux résister à l'effritement que ceux percés dans une paroi de verre.

Un autre modèle d'interrupteur de Wehnelt, exposé par la maison Siemens et Halske, fonctionne sur courant continu ou alternatif de 65 à 150 volts. Il est surtout remarquable par le dispositif adopté pour éviter un échauffement trop fort pendant le fonctionnement continu de l'interrupteur; ce dispositif consiste en un serpentin réfrigérant adapté latéralement au vase de plomb qui contient l'acide. Ce vase de plomb, muni de son réfrigérant rempli d'acide sulfurique dilué, est placé dans une cuve en zinc, sur laquelle on ajuste un couvercle portant les électrodes de l'interrupteur. En résumé on emploie une grande cuve en zinc, dans laquelle circule un courant d'eau froide, et contenant une petite cuve en plomb avec réfrigérant, dans laquelle sont plongées les électrodes du Wehnelt. Ce procédé de réfrigération paraît très efficace.

Le modèle d'interrupteur Wehnelt, Armagnat-Carpentier, construit par la maison Carpentier, a pour caractère particulier de fonctionner sous un voltage relativement faible pour un interrupteur électrolytique (20 à 30 volts) et de fonctionner mieux lorsqu'on élève la température du liquide vers 80 ou 90 degrés. Tandis que tous les autres constructeurs se sont ingéniés à refroidir le liquide du Wehnelt, M. Carpentier préconise au contraire l'échauffement de l'électrolyte et son appareil est disposé pour en empêcher le refroidissement. Pour cela, autour de la première enveloppe en plomb laminé, contenant le liquide acide, en est une seconde en laiton épais, puis une troisième en feutre, et, enfin, une quatrième en bois d'acajou, ces deux dernières destinées à empêcher, autant que possible, le refroidissement. Quant à l'électrode, elle est constituée par une tige en plomb, soudée à son extrémité à un gros fil de platine de 1,5 millimètre de diamètre, faisant plus ou moins saillie hors d'une enveloppe de verre. Cette électrode est réglable par une vis passant à travers le couvercle. On voit encore sur ce couvercle une tige de thermomètre qui renseigne sur la température du liquide, et une tubulure par laquelle les gaz et les vapeurs acides peuvent être amenés dans un vase quelconque contenant un liquide alcalin.

L'interrupteur électrolytique modèle Wehnelt construit par M. Ducretet est à bec

de porcelaine incassable et à vases concentriques. Le charbon, le plomb et le laiton du vase servent d'électrode négative à grande surface; quant à l'électrode positive, elle est réglable au moyen d'une vis molletée traversant le couvercle. Un orifice percé dans ce même couvercle peut être muni d'un caoutchouc et servir à l'expulsion des gaz.

L'interrupteur de Wehnelt, modèle de la maison Radiguet, était composé d'une cuve remplie d'alun et d'une électrode Carpentier. Ce constructeur emploie également, par économie, des électrodes fixes positives, dans lesquelles le fil de platine est soudé à demeure sur le tube de verre.

Lorsqu'on se sert, pour alimenter les bobines de Ruhmkorff destinées aux rayons X, de l'interrupteur de Wehnelt, il n'est pas besoin d'adjoindre un condensateur à la bobine. Mais il n'en est pas de même lorsqu'on se sert des interrupteurs dans lesquels l'interruption résulte de la séparation de deux parties métalliques, dont le contact rétablit la continuité du circuit. Dans ce dernier cas, il est nécesssaire d'avoir un condensateur branché en dérivation sur le point d'interruption. Le réglage de la capacité de ce condensateur est assez difficile et dépend de conditions encore assez mal connues. Si l'on augmente par trop cette capacité, on diminue sensiblement la longueur d'étincelle de la bobine; si cette capacité est trop petite, l'interrupteur fonctionne mal, avec des explosions, projections de mercure, ou usure prématurée des contacts.

D'ailleurs, cette capacité optima du condensateur, placé en dérivation suivant la méthode de Fizeau, varie suivant la puissance absorbée par l'induit de l'appareil.

Aussi certains constructeurs, M. O. Rochefort, entre autres, ont-ils adopté pour les adjoindre à leur bobine de Ruhmkorff, des condensateurs à capacité variable et réglable pendant la marche même de la bobine. Le condensateur de M. O. Rochefort est à lames d'étain et papier paraffiné, comme à peu près tous ceux construits pour cet usage, mais il porte, sur la face supérieure de la boîte qui le contient, un commutateur à cheville qui permet d'en faire varier la capacité.

TUBES PRODUCTEURS DE RAYONS X.

La partie la plus importante d'une installation radiographique et radioscopique est le tube à vide très raréfié, dit *tube de Crookes* ou *tube de Rœntgen*, d'où émanent les rayons X. Depuis la découverte de Rœntgen, ces tubes se sont perfectionnés de telle manière qu'aujourd'hui on obtient, avec les derniers modèles et avec un temps de pose beaucoup moindre, des radiographies de partie du corps qu'on n'aurait pas osé aborder avec les tubes fabriqués au lendemain de la grande découverte du physicien de Wurzbourg.

La recherche des perfectionnements des tubes émettant les rayons X est des plus délicates et ne peut guère se faire que dans des ateliers parfaitement outillés et chez des souffleurs de verre particulièrement habiles. Parmi les modèles exposés, on peut distinguer : 1° les tubes ordinaires à anticathode simple, qui, une fois réglés par le constructeur au point de vue du degré de vide, ne peuvent être modifiés volontairement

au cours d'une opération radiographique ou radioscopique si ce n'est par le chauffage de l'ampoule; 2° les tubes portant un dispositif pouvant permettre à celui qui l'utilise, de régler à sa volonté le degré de vide; 3° dans une troisième classe, nous comprendrons les tubes ayant une anticathode refroidie par un moyen quelconque, en dehors du rayonnement. Ces tubes, que l'on appelle en Allemagne à contraste (kontraströhre), peuvent d'ailleurs, en plus de leur anticathode refroidie, porter un dispositif pour le réglage du vide comme ceux de notre deuxième catégorie.

M. Chabaud, digne successeur de la célèbre maison Alvergnat frères, expose une collection complète de tubes producteurs de rayons X, et montre aussi les nombreux perfectionnements apportés à la fabrication de ces tubes, perfectionnements dont beaucoup ont été imaginés soit par M. Chabaud, soit par des savants qui ont trouvé en lui le collaborateur le plus précieux. Parmi les tubes exposés, nous ne signalerons que ceux qui ne sont pas trop éloignés des modèles actuels et dont la construction a été l'occasion d'un progrès réel: ainsi le tube Collardeau, dont l'anticathode est constituée par une lame de platine de très petite dimension; le tube focus, modèle 1897, à anticathode en iridium; le tube Collardeau-Chabaud, le tube à cathodes multiples de M. Villard, le tube Villard à anticathodes coniques, le tube Buguet-Chabaud, à anticathode refroidie.

L'un des perfectionnements les plus importants qui ait été apporté aux tubes à rayons X consiste certainement dans l'emploi de l'osmo-régulateur de Villard construit par la maison Chabaud. Nous n'avons pas à décrire ici le principe de cet appareil, si simple et si sûr, qui, dès son apparition, a remplacé, du moins en France, tous les autres dispositifs de réglage du vide des tubes à rayons X.

L'osmo-régulateur de Villard est appliqué aujourd'hui par M. Chabaud à tous les tubes qu'il construit; c'est ainsi que nous voyons dans son exposition un tube de Villard à anticathode conique et un tube de Chabaud à anticathode dont les soudures et le centrage ne laissent rien à désirer; M. Chabaud ne se sert d'aucun mastic ni d'aucun recouvrement métallique des soudures dans la construction de ses tubes; on voit dans les soudures la tige solide de platine traverser directement l'épaisseur du verre et former un crochet à l'extérieur. Aussi ses tubes ont-ils, par cette construction particulièrement solide et soignée, une durée considérable, que l'osmo-régulateur permet d'utiliser dans les meilleures conditions.

M. A. Anselme est un des rares constructeurs français construisant lui-même les tubes à rayons X. Les tubes de M. Anselme sont des tubes *focus bi-anodiques* d'un prix très abordable et destinés à des bobines donnant 0 m. 15 à 0 m. 20 d'étincelle. D'ailleurs, l'exposant en fabrique pour des longueurs d'étincelle beaucoup plus grandes; les ampoules ne dépassent pas 0 m. 10 à 0 m. 12 de diamètre, dimension reconnue par ce constructeur comme donnant les meilleurs résultats. L'anticathode est à une distance de la cathode égale environ à 4 ou 5 fois le rayon de courbure de celle-ci. M. Anselme se sert, pour régénérer le vide de ses tubes, de tournure d'aluminium, métal qu'il trouve très suffisamment poreux pour cet usage.

Le tube à contraste (kontraströhre), exposé par M. Max Lévy, est à réglage du vide et à anticathode refroidie par un courant d'eau. Cette anticathode est formée par la superposition d'une matière métallique et d'une matière non métallique isolante. Le tout est comme cousu, à l'extrémité du tube rempli d'eau, au moyen de fils minces traversant la paroi du tube et se terminant par un conducteur anticathodique sortant à l'extérieur. D'après le constructeur, la matière isolante qui double le miroir anticathodique remplace avantageusement les supports métalliques qui maintiennent ordinairement l'anticathode, car cette matière isolante, capable de supporter les plus hautes températures, ne laisse échapper du gaz que difficilement, de telle sorte qu'on peut pousser l'échauffement jusqu'au blanc naissant. Le tube à contraste de M. Max Lévy peut contenir ou non du liquide. Pour les grandes bobines et avec l'interrupteur électrolytique, il vaut mieux remplir d'eau le tube anticathodique, la circulation du liquide serait inutile, d'après le constructeur, et l'eau qu'il contient fait partie du tube par construction. Le tube porte un régulateur de vide dont le système est la propriété de M. Max Lévy.

La maison Hirschmann, de Berlin, expose une série de tubes de diverses grandeurs, qui n'ont rien de particulier. Signalons cependant le tube forme H dont la partie cathodique est enroulée avec une bande de gaze que l'on peut humecter, et un autre tube portant, surajouté au niveau de l'électrode positive, un disque conducteur dont l'action inexpliquée a, paraît-il, donné de bons résultats.

Le tube de MM. Buguet et Chabaud porte une anticathode faite d'un gros tube de platine soudé directement au verre de l'ampoule. Ce tube de platine est entouré, jusqu'au centre de l'ampoule, d'un manchon de verre évitant l'action du courant induit inverse de la bobine sur le tube métallique. A son extrémité interne, ce tube de platine est taillé en sifflet et une lame de platine, soudée sur cette extrémité, le ferme hermétiquement. Une collerette métallique entoure le platine, arrêtant les rayons cathodiques étrangers au faisceau utile qui pourraient atteindre le verre à l'arrière de la plaque anticathodique. Enfin, un petit réservoir à eau est relié à l'extrémité extérieure du tube de platine. Dans le cas où l'on préférerait faire usage de circulation d'eau ou de mercure, il suffirait de remplacer le réservoir à eau par un dispositif de deux tubes concentriques qu'on relierait à l'extrémité libre du tube de platine au moyen d'un caoutchouc. En marche, les rayons cathodiques tombent sur la lame de platine obturatrice sans pouvoir l'échauffer notablement, car elle est en contact, par sa face postérieure, avec l'eau. Au point de vue pratique, il faut remarquer la soudure verre-platine dont la section est considérable, ce qui rend la difficulté de construction d'autant plus grande.

Les tubes à rayons X exposés par la maison Siemens et Halske étaient de deux sortes : un premier tube à vide réglable muni d'un petit tube de platine faisant fonction d'osmo-régulateur de Villard, que l'on pouvait recouvrir d'une chape de verre en dehors de l'usage; un autre tube à anticathode renforcée, et destiné, d'après la maison exposante, à être utilisé avec les interrupteurs de Wehnelt ou de Simon. Ce renforcement de l'électrode consiste à employer, au lieu d'un simple fil métallique

IMPRIMERIE NATIONALE.

pour supporter l'anticathode, un gros cylindre de 1 cent. 5 de diamètre à peu près, renforcé encore au voisinage du miroir anticathodique. L'ensemble agit en augmentant la surface de rayonnement de la partie chauffée par le fonctionnement du tube et permet, par conséquent, à ce tube de supporter des courants de plus haute intensité.

Les tubes à rayons X exposés par l'*Allgemeine elektricitäts Gesellschaft*, sont des tubes en forme de ballon avec anticathode circulaire. Ils sont construits pour des longueurs d'étincelle variant de 3 centimètres à 1 mètre et ont des dimensions depuis 7 cent. 5 de diamètre jusqu'à 16 cent. 5. C'est le tube le plus répandu. Il n'est construit ni avec vide réglable ni avec anticathode refroidie.

Avec les tubes à rayons X, on peut classer quelques autres appareils tels que la soupape cathodique de Villard et le redresseur cathodique du même auteur. Ces deux appareils sont exposés par M. Chabaud à plusieurs exemplaires.

Soupape cathodique de Villard. — On sait en quoi consiste l'ingénieuse soupape cathodique de M. Villard; c'est un tube à vide en forme de poire ayant une grande électrode en tire-bouchon et une toute petite placée dans un tube étroit. Lorsque la grande électrode est cathode, l'ampoule présente une étincelle équivalente, égale à 1 millimètre environ; sa résistance est à peu près nulle. Mais lorsque, au contraire, la grande électrode est anode, l'ampoule présente une étincelle équivalente égale à 12 ou 14 centimètres et sa résistance est énorme. On comprend que la soupape, reliée comme il convient à un tube de Crookes, empêchera dans celui-ci le retour du courant induit inverse et par suite évitera la pulvérisation des métaux qui constituent l'autre cathode, d'où une plus longue vie du tube.

Le redresseur cathodique de Villard se compose de trois soupapes cathodiques. Il permet d'employer le courant alternatif directement fourni par une usine électrique, de l'envoyer tel quel dans une bobine de Ruhmkorff pour alimenter un tube producteur de rayons X, et de supprimer l'interrupteur.

APPAREILS ACCESSOIRES.

Mesureurs d'étincelle. — Le mesureur d'étincelle de la maison Max Kohl, de Chemnitz, qui est contenu dans le meuble exposé tout à côté de l'interrupteur, est formé de deux supports isolants, dont l'un est fixé sur une planche graduée et dont l'autre peut se mouvoir sur cette même planche par une glissière. Le rapprochement et l'écartement entre les deux supports, dont l'un porte un plateau et l'autre une pointe, se fait à la main.

Le mesureur d'étincelle de la maison Siemens et Halske se compose de deux piliers isolants dont l'un est mobile, par son pied, dans une glissière graduée. Les extrémités des fils venant de la bobine sont fixées aux bornes que portent les sommets des deux piliers, et l'étincelle jaillit entre un plateau et une pointe que l'on rapproche ou éloigne

l'un de l'autre jusqu'à ce que l'étincelle ait atteint sa longueur maxima. On fixe alors le pilier mobile et on lit sur l'échelle la distance trouvée. Dans l'installation générale que la maison Siemens et Halske avait exposée, avec l'interrupteur Simon et les 225 volts de la distribution électrique de l'Exposition, le mesureur d'étincelle était fixé au mur et au-dessus de la bobine et en dérivation sur le tube.

Supports d'ampoules. — Les supports d'ampoules, exposés par M. Bonetti, sont munis de porte-conducteurs qui empêchent la fatigue qu'impose aux attaches des ampoules le poids des conducteurs, lourds à cause de leur grand isolement, venant des machines statiques. D'ailleurs, ces conducteurs sont terminés par des boules qui préviennent la perte par effluve au niveau de leurs attaches sur le tube.

Le pied-support de tubes exposé par la maison Gaiffe est à base très lourde avec pinces articulées pour placer les tubes dans la meilleure position, soit dans le sens vertical, soit dans le plan horizontal. Un support en verre pour les fils venant de la bobine ou pour les gros conducteurs venant de la machine statique est fixé au sommet du pied.

M. Chabaud a exposé un support de tube destiné à prendre les deux épreuves radiographiques dans la radiographie stéréoscopique. Cet appareil se compose d'une planchette horizontale dans l'épaisseur de laquelle glisse à frottement doux un tiroir; deux châssis de dimensions 24/30 peuvent être substitués l'un à l'autre dans le tiroir; chacun des châssis renferme une série d'intermédiaires photographiques. Quant au support lui-même, il est formé de deux tiges verticales sur lesquelles glisse une tige transversale. Au milieu de cette tige transversale sont deux curseurs qui portent les tubes, quelle qu'en soit la forme, au moyen desquels on obtient les deux épreuves stéréoscopiques. Le maniement très simple de l'appareil est le suivant: on commence par placer la partie à radiographier bien au-dessus de la plaque enfermée dans le châssis. Des lignes de repère facilitent cette opération; puis on mesure l'épaisseur de l'objet à radiographier et la distance du foyer du tube à la paroi la plus proche de l'objet, on en déduit la valeur du déplacement qu'on devra imprimer au tube pour passer d'une radiographie à l'autre; le tableau bien connu, dressé par MM. Marie et Ribaut, fournit la valeur de ce déplacement; il n'y a plus alors qu'à fixer le tube selon ces données et à opérer.

Les supports de tubes de la maison Hirschmann sont au nombre de deux. Un premier, formé par un lourd support de fonte vertical dans lequel glisse une tige dont l'extrémité porte un joint universel auquel est fixée la pince prenant le tube. Grâce à ce joint universel, cette pince peut prendre toutes les positions et grâce au glissement de la tige verticale, on peut porter le tube à toutes les hauteurs utiles.

Tandis que ce support de la maison Hirschmann est mobile, le second est au contraire destiné à être fixé contre un mur; même dispositif à peu près, mais suppression du lourd support de fonte et de la tige montante qui sont remplacés par un bras auquel le joint universel permet tous les mouvements.

A côté des supports de tubes, signalons les supports pour plaques photographiques du même exposant, qui permettent d'appliquer la plaque sur des points du corps où elle ne s'appliquerait pas très bien dans la position ordinaire du décubitus dorsal. C'est une sorte de châssis mobile dans tous les plans de l'espace, maintenu par une tige horizontale glissant elle-même sur un support lourd vertical.

La table pour opérations radiographiques et radioscopiques, exposée par MM. Boulade, est formée d'un cadre sur lequel est fixée et tendue une plaque d'aluminium de 8/10 de millimètre d'épaisseur, cette épaisseur étant nécessaire pour supporter le poids du sujet; c'est un lit peu moelleux pour un malade. Cette table porte sur le côté un système permettant d'installer le tube et de faire varier sa position dans les trois plans de l'espace.

Ce même exposant nous montre encore des châssis doublés de plomb pour radiographie, dont la partie antérieure est formée de carton comprimé entouré par un cadre de cuivre.

L'appareil servant à éclairer les négatifs et à les réparer, de M. Chabaud, se compose d'un cadre rectiligne en bois portant une glace que l'on peut incliner plus ou moins de manière à éclairer un verre opale sur lequel on place le cliché. On peut observer avec cet appareil et repérer, soit un négatif quelconque, soit les deux négatifs d'une épreuve stéréoscopique. On peut même s'en servir pour des positifs.

A rapprocher de cet appareil le stéréoscope de Cazes, construit par Chabaud, monté sur colonne à rentrant et permettant d'observer les plus grandes images.

Il y avait, à l'Exposition, chez plusieurs constructeurs, des châssis photographiques destinés à la radiographie. Nous avons particulièrement remarqué ceux de M. Boulade, de M. Ducretet et de M. Gaiffe; ces derniers à parois minces en triple épaisseur de bois croisé pour éviter la radiographie des fibres.

Les cabinets noirs pour radioscopie étaient difficiles à exposer à cause de leurs dimensions; cependant nous en avons rencontré deux exemplaires à l'Exposition. L'un, dans le stand de M. Bonetti, est constitué par une légère charpente recouverte de velours épais. Le tout peut se monter rapidement et même prendre place dans le cabinet du médecin.

Le second cabinet noir était situé dans l'exposition de la maison Gaiffe; il était fait suivant la forme et les dimensions d'une cabine téléphonique; il a été mis en usage pendant tout le temps de l'Exposition. Il permettait de s'enfermer dans l'obscurité pour observer les images radioscopiques et portait un châssis d'écran permettant de déplacer verticalement cet écran sans modifier la position du malade.

Le nécessaire d'instruments pour la production et l'emploi des rayons de Roentgen, exposé par la maison Hirschmann, a la forme d'un bahut, dans l'étage inférieur duquel peuvent être placés des accumulateurs, tandis qu'à la partie supérieure sont placés les appareils de graduation et de commutation, la bobine surmontant le tout.

L'interrupteur est du type à jet de mercure du même constructeur et l'ampèremètre indique à chaque instant l'intensité du courant traversant la bobine inductrice. Quant

aux appareils de graduation et de commutation, nous avons remarqué, surtout parmi ces derniers, un dispositif original qui empêche de mettre la bobine en court circuit lorsque l'interrupteur ne fonctionne pas. Le commutateur ainsi disposé peut prendre 4 positions : la position 1, dans laquelle le circuit du moteur de l'interrupteur et le circuit primaire sont coupés; la position 2, dans laquelle l'interrupteur fonctionne, le circuit primaire étant toujours coupé; la position 3, dans laquelle la bobine est en plein fonctionnement, et la position 4, dans laquelle le circuit primaire est coupé tandis que l'interrupteur marche toujours. Il est impossible de passer d'une position à une autre sans passer par la ou les positions intermédiaires, ce qui empêche toute fausse manœuvre.

Les écrans fluorescents de M. Ducretet sont à signaler, car ils sont faits dans ses ateliers et avec du platino-cyanure de fabrication française.

Parmi les accessoires, pour la radiographie et la radioscopie, exposés par la maison Radiguet, nous pouvons citer : son radioguide, l'un des premiers appareils ayant été réalisé pour déterminer le rayon normal; le lit du docteur Guilleminot qui permet la radiographie du malade suivant toutes les positions possibles; le compas Massiot qui est le complément du lit du docteur Guilleminot et permet de déterminer la position d'un corps étranger dans une partie quelconque du corps; le radioscope explorateur de Londe qui sert aux mêmes usages; le support de tubes universel muni de tous les mouvements nécessaires pour déplacer le tube sans crainte de voir les fils se mélanger; la chambre noire radioscopique; le radio-condensateur; l'X-omètre de Buguet.

MEUBLES COMPLETS POUR RAYONS X.

L'appareil portatif pour la production et l'utilisation des rayons X, construit par M. Ducretet, est appelé par ce constructeur *sonde lumineuse*. Il contient, dans un meuble ayant la forme d'un pupitre, toute l'instrumentation nécessaire pour la production des rayons X, depuis la batterie jusqu'aux tubes, et peut servir à l'examen rapide de certaines parties du corps et plus particulièrement à la radioscopie.

La Société La Lorgnette humaine Seguy expose un matériel complet pour la production des rayons X (radiographie et radioscopie). Tous les appareils sont fixés sur un meuble qui contient à la fois la batterie d'accumulateurs, la bobine, tous les appareils de graduation et de mesure; quelques-uns même, destinés au transport dans les salles d'hôpitaux, contiennent le support du tube, le tube et l'écran.

Rien de particulier à signaler dans ces appareils, si ce n'est la disposition du meuble que l'on peut mouvoir facilement.

Le meuble exposé par la maison Max Kohl, de Chemnitz, a la forme d'une armoire pupitre et contient tous les appareils nécessaires à la radiographie et à la radioscopie. La partie centrale du meuble est destinée à l'interrupteur que nous avons précédemment décrit, à l'ampèremètre et à l'appareil pour mesurer la longueur des étincelles. Le tout est placé sur une plaque de marbre blanc. La partie antérieure du pupitre est fermée par une glace épaisse qui glisse dans la partie supérieure lorsqu'on ouvre le meuble.

Dans la partie supérieure elle-même, sont disposés quatre tiroirs doublés de feutre pour y loger les tubes de Roentgen; il y a de plus un tiroir plat pour contenir l'écran fluorescent. Dans l'étage inférieur, au-dessous de la plaque de marbre, se trouvent, à droite, les deux rhéostats du courant primaire et de l'interrupteur. Enfin, la partie inférieure du meuble contient les bobines d'induction. Deux lampes à incandescence, l'une avec un verre blanc et l'autre avec un verre rouge, peuvent être utilisées pour la radioscopie ou même pour charger les châssis.

Le docteur Max Lévy, de Berlin, expose à côté de ses bobines et de son interrupteur à filet mercuriel, un tableau de distribution contenant tous les instruments de mesure, les rhéostats et l'interrupteur lui-même, ce qui permet au médecin électricien de manœuvrer le tout très facilement. Cet appareil comprend comme instruments de mesure: un voltmètre et un ampèremètre; comme rhéostat de réglage deux rhéostats, l'un pour régler la vitesse du moteur de l'interrupteur, l'autre destiné à être placé en tension sur le circuit inducteur de la bobine. Le tableau, monté sur marbre, permet donc la manœuvre de toute l'installation pour rayons X sans qu'on ait à s'approcher de la bobine qui peut, suivant les cas, être placée sur une table, sur une console ou appliquée au mur. D'autre part, l'emploi de l'interrupteur à filet mercuriel rend toute fausse manœuvre impossible.

Le docteur Roberto Joffre (Mexique) expose dans le pavillon de cet État une série de photographies montrant son installation radiographique et électrothérapique. On y voit entre autres appareils : un moteur à gaz faisant tourner une dynamo, une grande bobine de Ruhmkorff, un appareil à haute fréquence avec soufflage magnétique par un énorme électro-aimant de construction française, un interrupteur également de construction française, des machines statiques et une quantité d'électrodes de toutes formes. Cette installation, que nous n'avons pu juger malheureusement que par les photographies exposées, nous a paru plus complète que celles de beaucoup de cabinets de médecins électriciens français.

CHALEUR.

L'électricité sert de plus en plus en médecine pour produire la chaleur dans les cautères dits : *galvanocautères*, et aussi pour produire la lumière.

Les modèles de galvanocautères exposés présentent peut-être une construction plus soignée que les anciens, mais n'ont rien de particulièrement nouveau.

Dans l'amygdalotome électrique de Chardin, on n'a rien changé à l'instrument chirurgical ordinaire, si ce n'est qu'on y a introduit la matière isolante nécessaire; cet instrument se manœuvre comme l'amygdalotome à couteau, l'anse électro-thermique tenant la place du couteau.

Le même constructeur expose un transformateur destiné à donner à la fois un voltage suffisant pour les petites lampes (12 à 15 volts) et une grosse intensité pour les galvanocautères. Cet appareil se branche sur courant alternatif de 110 volts à la place d'une lampe ordinaire. Il est enfermé dans une boîte de bois semblable à celles que le même

constructeur emploie pour ses batteries à courant galvanique. Sur le dessus de la boîte sont des bornes dont une paire est pour le cautère et l'autre paire pour la lumière. A l'intérieur est le transformateur contenant le secondaire composé de 14 spires de gros fil de 42 dixièmes. Un rhéostat permet de graduer l'intensité du courant pris sur ce secondaire.

L'isolant du galvanocautère est le plus souvent fait avec de l'os, de la fibre ou de l'ébonite. M. J. Maisonneuve expose des galvanocautères et des cautères isolés avec de l'amiante.

La maison Hirschmann, de Berlin, expose une série de galvanocautères dont les manches peuvent porter soit l'anse électro-thermique, soit les différentes lames pouvant être utilisées. Parmi ces lames nous en remarquons qui peuvent être aseptisées; un modèle entre autres, d'après le docteur professeur Fränkel. Toute une collection d'instruments pour la galvanocaustie gynécologique est également présentée par la même maison. Cette collection d'instruments, construite d'après le docteur A. Mackenrodt, permet une stérilisation complète à haute température et peut être portée depuis le rouge sombre jusqu'au rouge blanc au moyen d'un meuble contenant à la fois la source (accumulateurs), le rhéostat et l'ampèremètre.

Dans l'exposition de M. G. Campostano, de Milan, nous trouvons surtout des appareils destinés à la diérèse galvanocaustique, et en particulier les instruments du professeur Bottini pour le traitement de l'hypertrophie de la prostate. Le constructeur a disposé, dans une boîte facilement transportable, les accumulateurs destinés à l'entretien des galvanocautères. Au moyen de boutons appropriés, on peut mettre ces accumulateurs, le plus souvent au nombre de deux, soit en tension, soit en quantité et régler le courant qu'ils fournissent au moyen d'un rhéostat dont la résistance variable peut être appréciée sur un cadran visible sur la face antérieure de l'appareil. Quant aux galvanocautères, ils sont de divers modèles et peuvent servir à des usages très variés, mais le plus important est l'inciseur pour l'hypertrophie prostatique du professeur Bottini exposé par le constructeur sous divers modèles. On sait que cet instrument se compose d'un explorateur urétral métallique dans lequel glisse une lame de galvanocautère en suivant l'une des génératrices du cylindre. Un courant d'eau refroidit l'explorateur et la chaleur n'atteint que la prostate hypertrophiée.

La maison W. A. Hirschmann, de Berlin, expose une instrumentation complète destinée à la même opération. On y voit d'une part le galvanocautère lui-même en forme de lithotriteur avec vis de rappel pour le cautère et tubes pour l'entrée et la sortie de l'eau destinée à refroidir l'enveloppe de celui-ci au niveau de l'urètre.

La source d'électricité, formée d'une petite batterie d'accumulateurs de grande capacité, est portée sur un escabeau mobile sur roulettes. Un ampèremètre est joint à cette batterie de manière à être constamment sous l'œil de l'opérateur. C'est par sa lecture, en effet, que celui-ci se rend compte à chaque instant de la bonne marche du cautère qui a dû être repéré auparavant de manière à connaître exactement l'intensité du courant qui le porte au rouge. On sait d'ailleurs que cette intensité est sensiblement infé-

C. F. E.

rieure à celle qui doit être employée pendant l'opération elle-même, le cautère perdant alors une plus grande quantité de chaleur puisqu'il est plongé dans les tissus.

Les manches de galvanocautères, employés par M. Gaiffe, sont à monture entièrement métallique, avec isolement au mica, ce qui permet de flamber et même de porter à de très hautes températures, dans l'étuve sèche, la monture du galvanocautère. Le manche et les supports pour petites lampes d'éclairage sont faits de la même manière; l'on peut ainsi obtenir une aseptie complète.

MM. Adnet et fils ont appliqué le chauffage électrique aux instruments de laboratoire tels que : étuves à cultures et étuves à stérilisation. Ces instruments ont été construits suivant le système et les indications de M. le professeur d'Arsonval.

Dans un premier système de chauffage, le constructeur a recours à deux plaques de métal que l'on peut rapprocher ou éloigner plus ou moins, et entre lesquelles l'eau sert de conducteur résistant. Cette résistance constitue un producteur de chaleur très économique, si on le compare aux résistances ordinaires; d'ailleurs, un régulateur métallique peut être placé sur le courant et couper celui-ci dès que la température voulue est atteinte.

Dans une seconde classe d'appareils, le chauffage s'effectue par l'air sec, et tout le liquide est supprimé. Sur ce modèle, nous voyons la nouvelle étuve pour fermentation et cultures; c'est une armoire, comme l'étuve de Roux, dans laquelle la chaleur est développée par des lampes fixées dans un tiroir à la partie inférieure de l'étuve. Des tubes, placés dans l'intérieur, assurent une température uniforme dans toutes les parties de l'étuve. Le réglage de la température se fait au moyen d'un régulateur basé sur la dilatation d'un métal; la température peut varier de 1 à 2 degrés.

Dans une troisième classe d'étuves pour stérilisation, le constructeur est parvenu à atteindre des températures de 180 à 200 degrés, et cela au moyen d'une résistance formée d'un fil enroulé sur un tube à rainures que M. Adnet a pu arriver à fabriquer pratiquement et à des prix raisonnables.

LUMIÈRE.

On se sert de l'électricité, en médecine, pour produire de la lumière, dans deux circonstances différentes : ou bien on cherche à éclairer le point sur lequel doit porter le diagnostic ou l'action thérapeutique du médecin; ou bien il s'agit de faire tomber les rayons lumineux, dans un but thérapeutique, sur un point de l'organisme. Dans le premier cas, c'est une application particulière d'éclairage électrique; dans le second cas, c'est une méthode de traitement par la lumière ou photothérapie.

Les instruments destinés à l'éclairage électrique, en médecine, comprennent le plus souvent des lampes à incandescence, très rarement des lampes à arc. Ces lampes à incandescence sont montées sur des supports très variés, mais ne ressemblant pas le moins du monde aux supports industriels. Les lampes, elles-mêmes, sont fabriquées pour l'usage médical spécialement.

Elles ont comme caractéristique, d'être d'un très petit volume (quelques-unes sont moins grosses qu'un pois ordinaire) et d'un voltage également très faible, 2 à 12 volts, presque jamais au delà.

Presque toujours, il leur est adjoint un appareil optique, lentille ou miroir, destiné à concentrer les rayons de ces lampes sur le point que doit examiner le médecin. Tantôt, ces appareils complexes d'éclairage, formés d'une lampe à incandescence et d'un appareil optique, restent à l'extérieur du corps du patient et sont portés soit par la main du médecin, soit sur son front; alors ils constituent les appareils d'éclairage à main ou frontaux. Tantôt, au contraire, ils sont destinés à être introduits dans le corps du patient, pour en éclairer l'une des cavités : ce sont alors des endoscopes.

Miroirs frontaux. — Ils se composent tous d'un bandeau frontal rigide ou élastique, portant à sa partie antérieure, soit un miroir articulé, au centre duquel est la petite lampe à incandescence, soit un tube fermé par une lentille à sa partie antérieure et dans l'intérieur duquel est une lampe.

Les appareils à éclairage frontal, de la maison Hirschmann, appartiennent à cette dernière catégorie. Tout autour du bandeau court le double conducteur, terminé par une prise de courant que le médecin fixe au moment voulu. Il y a quelquefois avantage à ce que le centre de visée du médecin coïncide avec l'axe du faisceau lumineux; dans ce cas, la maison Hirschmann construit un modèle approprié.

Les sources destinées à alimenter les petites lampes utilisées en médecine sont rarement aujourd'hui des piles primaires, souvent des accumulateurs, et plus souvent encore le courant d'une usine, soit employé directement avec des appareils destinés à en abaisser le voltage, ou bien employé indirectement au sortir d'un transformateur rotatif, lorsqu'il s'agit de courant continu, ou d'un transformateur ordinaire, lorsqu'il s'agit de courant alternatif.

La maison Hirschmann, de Berlin, expose des appareils de cabinet pour éclairage seul, des appareils de cabinet pour la galvanocaustique et l'éclairage, les deux destinés à être branchés directement sur le courant continu.

La collection d'endoscopes, exposés par la maison Hirschmann, est aussi complète que possible. Nous y trouvons par exemple des diaphanoscopes, destinés à être introduits dans la cavité buccale; des urétroscopes, des rectoscopes, des œsophagoscopes, etc., et des modèles divers du cystoscope de Nitze. On sait qu'à cause du courant assez intense réclamé par les petites lampes à incandescence des cystoscopes, ces appareils s'échauffent assez vite au niveau de leur partie latérale. Aussi, a-t-on construit des cystoscopes à courant d'eau; l'un d'eux est exposé par la maison Hirschmann.

Signalons également, de la même maison, un cystoscope pour le catétérisme des uretères, et un cystofantome très complet du docteur Nitze. Les lampes de tous ces instruments sont facilement remplaçables, et la même maison Hirschmann en expose un certain nombre, entre autres pour l'urétroscopie et la cystoscopie. Ajoutons que tous ces appareils sont montés de telle manière qu'on puisse les plonger dans un liquide

antiseptique, et cela sans que les parties optiques ni les parties conduisant le courant puissent être endommagées par le liquide.

MM. Boulade ont exposé une lampe électrique à arc, pour photothérapie; l'objectif de la lanterne permet d'y placer une cuve à liquide coloré. Quant à la lampe à arc elle-même, c'est une lampe à ciseaux ou à parallélogramme articulé, dans laquelle tous les mouvements des charbons sont possibles. Le réglage de cette lampe semble parfait et facile.

On trouve encore chez M. J. Maisonneuve une série de photophores, de miroirs frontaux avec petites lampes et éclaireurs à main pour sinus, construits d'après les modèles courants.

Le bain de lumière, exposé par la maison Gaiffe, se compose d'une cage octogonale s'ouvrant en deux parties. Les faces intérieures sont garnies de glaces, devant lesquelles sont placées des lampes à incandescence. Chaque panneau de l'octogone comporte six lampes de seize bougies, et l'ensemble comprend quarante-huit lampes, soit, comme intensité lumineuse, 760 bougies. L'ensemble des lampes d'un panneau est réglé par un commutateur spécial, si bien que l'on peut éclairer plus ou moins telle ou telle partie du corps. La face supérieure du cylindre octogonal laisse passer la tête du patient. Des tringles métalliques le protègent contre tout contact direct avec les lampes.

OZONE.

Les appareils à ozone, pour les usages médicaux, sont pour la plupart des producteurs peu intenses de ce gaz. Ceux que nous avons pu examiner à l'Exposition, sont de petits modèles, parmi lesquels nous citerons :

Les ozoneurs présentés par M. J. Guenet, au nombre de deux. Dans le premier, qui est le grand modèle de l'exposant, l'air est envoyé dans l'appareil producteur d'ozone, au moyen d'un ventilateur commandé par un mouvement d'horlogerie. Cette disposition permet le fonctionnement de l'appareil sans qu'il y ait jamais échauffement. Le mouvement d'horlogerie fonctionne pendant une heure. Quant à l'appareil à ozone, qui n'a rien de particulier, il dépense 4 volts et 5 à 6 ampères. Son débit d'ozone permet d'ozoniser l'air d'une chambre de malade ordinaire.

Le second modèle de l'exposant permet d'ozoniser la couche d'air environnant l'appareil sur une épaisseur d'à peu près 25 centimètres; en se plaçant dans cette zone, on peut ainsi faire des inhalations d'ozone.

M. A. Anselme ne fabrique que le tube à ozone qui peut être monté sur n'importe quel appareil produisant le courant de haute tension. Voici le détail de la construction de ce tube : au centre, sur un fil d'aluminium servant d'électrode, sont enfilés une série d'anneaux en aluminium, de deux grosseurs différentes, et alternés. Cette partie étant recouverte d'un tube en verre mince assez éloigné des rondelles, pour que l'effluve se forme bien sur ce tube, le constructeur enroule en spirale un ruban d'aluminium, sur lequel aboutit la seconde électrode.

Le tout est enfermé dans une gaine de verre, d'où sortent les deux prises de courant.

L'appareil à ozone portatif, de la maison Rebeyrotte, fonctionne avec pile bouteille ou pile sèche, et est transportable. Une poire à insufflation envoie l'air dans l'appareil dérivé de l'ozoneur Houzeau, où se produit l'ozone, lequel se termine par une embouchure de verre, devant laquelle se place le malade. La même maison a encore des appareils produisant l'ozone à l'aide des machines statiques qu'elle expose, et en se servant d'une poire de caoutchouc pour l'insufflation.

L'ozonateur à main, de M. Chardin, a ceci de particulier que le malade peut le tenir à la main comme un écran de foyer.

Le générateur d'ozone de Oudin, construit par la maison Ducretet, se compose d'un cylindre extérieur de verre, autour duquel est enroulée une spirale de fil que l'on relie au secondaire du résonnateur. A l'intérieur de ce cylindre, parallèlement à son axe, se trouve un tube de verre dans lequel on a fait le vide et qui sert de seconde armature à l'appareil. Il est fait pour marcher avec les courants de haute fréquence.

TRAVAIL MÉCANIQUE.

Le moteur électrique a permis d'introduire jusque dans la salle d'opérations du chirurgien une énergie mécanique étrangère à ses muscles; c'est ainsi qu'on voit des scies circulaires, des trépans, des maillets, etc., mus par des moteurs électriques. Mais le moteur électrique sert à bien d'autres usages en médecine; il force à des mouvements passifs les articulations raidies, il est utilisé dans le massage, dans la thérapeutique vibratoire, etc.

Les moteurs électriques destinés exclusivement aux applications médicales, étaient très nombreux à l'Exposition universelle de 1900.

Moteur employé pour la chirurgie. — La maison Hirschmann, de Berlin, expose un moteur destiné aux opérations chirurgicales et étudié par le professeur Dr. von Bergmann. Ce moteur, de la puissance d'un demi-cheval, est logé sous une table à roulettes. A l'aide d'un arbre flexible, le mouvement de rotation peut être transmis aux divers instruments. Le moteur est renfermé entre des plaques de verre ou d'opaline, qui permettent un nettoyage facile et le séjour de l'appareil dans la salle de chirurgie. L'appareil peut, à la rigueur, donner du courant pour l'éclairage des cavités ou pour des opérations d'électrolyse.

Les moteurs électriques de la maison Gaiffe peuvent être enroulés, soit pour courant continu, soit pour courant alternatif. Ils sont à pièces interchangeables, à paliers en métal antifriction avec graisseurs, et à balais en charbon; leurs puissances de 6 à 27 kilogrammètres, varient de 1/12 et à 1/3 de cheval-vapeur. Le rendement, d'après le constructeur, serait de 50 p. 100 pour le moteur de 1/12 de cheval et de 72 p. 100 pour le moteur de 1/3 de cheval.

Ces petits moteurs sont utilisés en médecine pour la mise en mouvement des machines statiques, des interrupteurs mécaniques, appareils de commutation rapide, vibrothérapie, etc.

Ces moteurs ont les extrémités des induits enfermées dans une calotte en laiton poli et verni qui protège les fils contre les accidents. Les bâtis sont, en général, en fonte malléable, mais la maison Gaiffe construit sur le même modèle des petites dynamos dont les bâtis sont en acier fondu. Ces dynamos sont utilisées lorsqu'elles sont enroulées en shunt pour charger des accumulateurs; elles sont enroulées en compound pour l'analyse chimique par électrolyse ou pour la mise en marche de bobines d'induction jusqu'à 25 centimètres d'étincelle.

La maison Hirschmann, de Berlin, expose un nécessaire d'instruments pour opérations du nez et des oreilles nécessitant des mouvements de rotation ou de va-et-vient rapides. Dans un manche, un peu plus gros qu'un manche ordinaire, est enfermé un petit moteur électrique pouvant être branché à la place d'une lampe et transmettant son mouvement à de petites scies, à des forets, etc., pouvant être introduits dans les cavités du nez et des oreilles. Cet appareil peut également servir à des massages localisés.

Depuis les premiers essais, faits à la Salpêtrière, sous la direction de Charcot, sur l'action des trépidations communiquées à l'organisme comme moyen thérapeutique, la méthode ne semblait se développer que lentement. Depuis quelque temps, ces applications paraissent plus fréquentes si l'on en juge par le nombre d'instruments ayant trait à cette thérapeutique vibratoire exposés aussi bien en France qu'à l'étranger.

La maison Gaiffe expose un assortiment complet pour médecine vibratoire.

Le manche vibrateur de M. le docteur Garnault, est un manche en bois ou en ébonite muni dans son intérieur d'une petite dynamo-gramme minuscule sur l'anneau de laquelle est fixée excentriquement une petite masse pesante. Un courant de deux à quatre volts suffit pour faire tourner rapidement cette petite dynamo et produire des vibrations dont le rythme varie avec la vitesse de la machine. Au sommet du manche vibrateur est une pince qui peut recevoir divers excitateurs dont les formes s'appliquent soit sur le globe de l'œil, soit sur la naissance du nez, soit sur le col de l'utérus, etc.

Dans le *casque vibrant* des docteurs Gilles de la Tourette, Larat et Gauthier, un casque en métal reçoit dans son fond un petit moteur à masse excentrée. Comme dans le cas précédent, une série de ressorts permet au casque de s'adapter à toutes les têtes.

Dans le tabouret vibrant des docteurs Charcot et Gilles de la Tourette, construit par M. Gaiffe, c'est encore un moteur muni de masses excentrées qui, fixé sur un tabouret à pieds de caoutchouc, transmet ses vibrations au tabouret lui-même et au patient placé sur le tabouret. Ces vibrations ont une amplitude d'autant plus grande que le moteur électrique qui les provoque a une plus grande puissance. Elles sont insupportables si le patient est debout sur le tabouret et l'on ne peut les appliquer que le patient étant assis.

Dans le *vibrateur moyen*, de la même maison, la petite dynamo munie d'un excentrique est montée sur un socle en bois et recouverte d'une calotte métallique. Le tout

peut se fixer sur un manche en bois ou sur un manche garni de caoutchouc souple pour isoler autant que possible l'opérateur. Sur la calotte supérieure on peut fixer des excitateurs divers.

Dans le vibrateur grand modèle, un moteur électrique fixé en un point quelconque du cabinet du médecin, transmet son mouvement par l'intermédiaire d'un arbre flexible qui aboutit à un manche dans lequel tourne encore une masse excentrée. C'est le plus puissant des vibrateurs construit par la maison Gaiffe. Le moteur, origine du mouvement, est un modèle robuste, l'arbre flexible porte une enveloppe extérieure immobile et sur le manche du vibrateur, tout entier en métal anti-friction, peuvent être fixés de nombreux excitateurs.

La maison Hirschmann, de Berlin, expose des moteurs électriques employés pour massage vibratoire et construits soit pour être actionnés par des accumulateurs, soit par les courants d'une station centrale. C'est toujours un poids excentré qui produit les vibrations plus ou moins fortes et plus ou moins rapides qui sont transmises ensuite par un arbre souple au corps humain au moyen de terminaisons ayant les formes les plus variées.

Un appareil relié à un moteur électrique sert au massage par l'air comprimé de la membrane du tympan, massage aujourd'hui souvent employé en otologie.

MAGNÉTISME.

L'aimant et l'électro-aimant sont très fréquemment employés en médecine et le nombre des petits modèles d'électro-aimants que l'on trouve chez les divers constructeurs est encore assez grand. Ils ne présentent rien de particulier et sont alimentés, la plupart du temps, par deux ou quatre couples au bichromate ou bien par deux accumulateurs. Nous trouvons ces appareils chez Gaiffe et chez Hirschmann en particulier.

L'électro-aimant du professeur Haab, destiné à l'ophtalmologie, construit par la maison Meyrowitz, de New-York, mérite une mention particulière. On aura une idée des dimensions de cet appareil lorsqu'on saura que le poids total de cet électro-aimant et de son piédestal est d'environ 272 kilogrammes. Pour mettre ce puissant appareil en action, on n'a qu'à le brancher sur un circuit d'éclairage à courant continu de 110 volts. Ceci se fait au moyen d'un coupe-circuit bipolaire et de fusibles appropriés. Un rhéostat joint à l'appareil permet de graduer l'intensité du courant magnétique et, par conséquent la puissance magnétique de l'aimant. Les mouvements que l'on peut imprimer à l'appareil sont au nombre de quatre : 1° un mouvement de rotation suivant l'axe vertical; 2° un mouvement de rotation suivant l'axe horizontal dans une première fourche; 3° un mouvement de rotation autour de l'axe qui porte l'électro-aimant et son contre-poids; et, enfin, 4° un mouvement de rotation suivant l'axe de la deuxième fourche.

Au moyen de ce dispositif l'électro-aimant peut prendre devant l'œil du patient étendu ou couché toutes les orientations possibles. Pour donner une idée de la force

attractive de cet électro-aimant, nous dirons qu'un fragment de fer pesant un gramme placé à 5 millimètres de la pointe de l'électro-aimant y est attiré avec une force égale à 337 grammes.

AUTRES APPLICATIONS INDIRECTES.

Le *laryngo-fantôme* du docteur Baratoux, construit par M. Gaiffe, est une application indirecte intéressante de l'électricité à la médecine. Il sert à enseigner aux jeunes médecins la pratique de la laryngologie et provoque des sonneries différentes suivant que telle ou telle partie du larynx artificiel qui le forme est touchée d'une manière inopportune par l'élève. L'enseignement auquel sert cet appareil, bien qu'un peu artificiel, ne peut qu'être de la plus grande utilité au débutant.

TROISIÈME PARTIE.

HORLOGERIE ÉLECTRIQUE.

Le rôle de l'électricité dans l'horlogerie peut être considéré à deux points de vue différents : ou bien cet agent est employé comme force motrice pour entretenir le mouvement des pièces mobiles de l'horloge, ou bien il est utilisé pour relier entre eux un certain nombre d'appareils chronométriques, de manière à les solidariser de telle sorte que les indications données par leurs cadrans soient les mêmes.

Dans le premier cas, les horloges sont dites *électriques* ou *électro-magnétiques;* dans le second cas, les horloges peuvent être électriques ou mécaniques mais sont munies de dispositifs permettant de transmettre, à intervalles réguliers, en général assez courts, des courants destinés à actionner des cadrans récepteurs secondaires et par suite à distribuer l'heure.

Les systèmes qui rentrent dans cette dernière catégorie sont dénommés *systèmes d'unification de l'heure.* Dans cette classe sont compris : la remise à l'heure électrique, dans laquelle le courant envoyé à intervalles éloignés (toutes les vingt-quatre heures par exemple), agit comme force correctrice des horloges secondaires, celles-ci conservant leurs moteurs et leurs pendules et pouvant fonctionner indépendamment de l'horloge directrice; et les systèmes de *synchronisation* dans lesquels les horloges secondaires, tantôt sont pourvues d'un moteur et d'un régulateur, le courant émis par l'horloge directrice à intervalles très rapprochés (toutes les minutes ou toutes les secondes), agissant sur le pendule en accélérant ses oscillations; tantôt sont actionnées par un électro-aimant au moyen duquel elles fonctionnent comme de simples compteurs.

C'est surtout sous la forme de distribution et d'unification de l'heure que l'horlogerie électrique s'est développée dans ces dernières années. De nombreuses applications ont été faites, soit dans les villes, soit dans les administrations (chemins de fer, hôtels, etc.). et les perfectionnements qui ont été apportés dans les détails de construction des appareils, dans l'établissement des conducteurs destinés à distribuer le courant, dans les sources d'électricité employées (piles, accumulateurs, courant distribué par les secteurs d'éclairage), ont complètement assuré le succès du fonctionnement des appareils de ce genre.

C'est ainsi que depuis la mise en service des installations faites par M. P. Garnier, à la gare Saint-Lazare et à l'hôtel Terminus de cette gare, où la distribution de l'heure est faite à 400 pendules, la société des établissements Henry Lepaute a monté au Palace Hôtel des Champs-Élysées 332 appareils récepteurs, et à la gare du quai d'Orsay 386. MM. Peyer-Faverger et Cie, de Neuchâtel (Suisse), ont fait en Suisse, en Allemagne et en Italie, des distributions d'heures très complètes dans différentes villes importantes : Berlin, Berne, Neuchâtel, Zurich, Gênes, Milan, etc. M. Stockall.

de Londres, est également entré dans cette voie et a fait des installations analogues dans certaines gares de chemins de fer (Liverpool street station), au General Post-Office de Londres et dans des écoles publiques.

HORLOGES ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.

Le système de M. d'Arlincourt repose sur l'emploi d'un électro-aimant actionnant les rouages d'une horloge ainsi que ceux de la sonnerie. L'électro-aimant présente ceci de particulier que l'armature est divisée en plusieurs lames mobiles chacune autour d'un axe spécial. Ces lames sont disposées les unes au-dessus des autres à des distances différentes des noyaux de l'électro, de telle sorte que la force attractive de celui-ci s'exerce successivement sur chacune des lames. Chaque lame (le modèle exposé en comporte huit) porte une butée qui, au moment où l'attraction se produit, entraîne la lame suivante et la rapproche des noyaux de l'électro-aimant. Cette disposition permet d'avoir, pour une même intensité de courant, un déplacement plus considérable de l'armature.

L'armature de l'électro est prolongée au delà de son point d'articulation et son extrémité est reliée au bras d'un levier coudé à l'autre bras duquel est adapté un cliquet. Lorsque le courant s'établit, l'armature de l'électro entraîne le système et le cliquet est projeté en avant. Lorsque le courant cesse, le cliquet est ramené en arrière par l'effet d'un poids suspendu à un fil attaché au premier bras du levier et passant sur une poulie. Le cliquet est ainsi soumis à des mouvements alternatifs en avant et en arrière. Dans son mouvement en avant, le cliquet accroche la dent d'une roue à rochet de 60 dents sur laquelle est calée une roue d'égal diamètre de 360 dents, qui actionne la minuterie de l'horloge. Cette dernière roue engrène avec un pignon de 6 dents qui porte sur son axe une roue d'échappement; c'est celle-ci qui entretient les oscillations d'un pendule à secondes.

L'émission du courant est établie au moyen d'un disque calé sur l'axe de la roue d'échappement et portant près de sa circonférence une goupille en platine communiquant avec la masse de l'appareil. A chaque tour du disque, cette goupille rencontre une lame de contact isolée et reliée électriquement avec une des bornes de l'électro-aimant, l'autre borne étant en relation avec le pôle positif d'une pile dont le pôle négatif est à la masse. L'interruption du courant est obtenue par le mouvement du cliquet, qui porte vers le milieu de sa tige une vis de butée. Celle-ci agit sur le bras d'un levier coudé à l'extrémité duquel est fixée la lame de contact.

Lorsque le courant passe, la vis de butée appuie sur le levier coudé et relève le ressort qui abandonne la goupille fermant le circuit.

La sonnerie fonctionne au moyen d'un mécanisme analogue et disposé de telle sorte que, lorsque le courant cesse, un cliquet met en marche une roue à contacts en saillie disposés par groupes, correspondant au nombre de coups que doit frapper le marteau à chacune des heures de la journée.

MM. Guénot et Cie exposent des pendules, œils-de-bœuf et régulateurs fonctionnant électriquement par le procédé de M. Hennequin. Dans ce système c'est un ressort qui, à intervalles réguliers très courts, imprime l'impulsion à un rochet commandant le balancier et, par suite, entretient le mouvement de l'appareil. L'effort moteur agissant sur le rochet est fourni non par l'attraction de l'armature, dont la force peut varier selon l'intensité du courant électrique, mais par le ressort qui ramène cette armature à sa position de repos et qui peut, par suite, être établi de manière à fournir un effort constant; l'attraction de l'armature n'a d'autre rôle que de tendre ce ressort. Lorsque celle-ci est dans la position éloignée de l'électro, le circuit de la pile se trouve fermé. Par le jeu d'une pièce coudée commandée par l'armature, l'électro devient actif et l'attraction se produit; dans ce mouvement, une lame flexible ou cliquet fixé à l'armature s'abaisse en parcourant un petit arc du rochet. Vers la fin de la course, la pièce coudée oscille brusquement et le circuit se trouve coupé. L'armature est alors rappelée par le ressort et revient lentement à sa position première, étant solidaire par le cliquet et le rochet du mouvement du balancier.

La course achevée, le courant s'établit de nouveau et la marche indiquée ci-dessus se reproduit.

Dans les horloges à sonnerie, le moteur est constitué par un petit barillet qui prend son mouvement sur la commande des aiguilles et qui se trouve remonté par le système électrique. Ce barillet commande les axes et roues de sonnerie suivant les procédés usuels de l'horlogerie.

L'enroulement des bobines de l'électro-aimant est fait de manière à supprimer les étincelles de fermeture et d'ouverture du circuit. A cet effet, M. Hennequin effectue simultanément avec l'enroulement ordinaire un enroulement auxiliaire fermé sur lui-même.

Les appareils que nous venons de décrire sont d'un montage et d'un démontage faciles et peuvent être adaptés sans difficulté à des horloges ou à des pendules ordinaires.

Dans l'horloge électro-automatique exposée par la Société des établissements Henry Lepaute, le remontage du poids se fait à des intervalles plus éloignés que dans les exemples précédents.

L'horloge est à trois corps de rouages comportant : le mouvement, la sonnerie de quarts (carillon) et la sonnerie d'heures. Elle est remontée automatiquement toutes les heures sept minutes par un petit électro-moteur à courant continu. A cet effet, un commutateur, actionné par un mobile du rouage du mouvement effectuant son tour en une heure, vient fermer le circuit du moteur qui se met immédiatement en marche et remonte simultanément les rouages du mouvement des quarts et de l'heure. La durée du remontage est de 25 secondes environ. Pour entretenir le mouvement pendant le remontage, un système particulier d'engrenages coniques avec pignon satellite est adapté aux barillets et aux roues de vis sans fin de remontage.

Pour éviter les ruptures du câble qui pourraient se produire dans le cas où les poids moteurs viendraient à rencontrer le bâti de l'horloge, on a disposé un interrupteur

IMPRIMERIE NATIONALE.

buté à fond de course par le poids du carillon. Le circuit est ainsi coupé lorsque le remontage de ce poids est terminé. Au quart suivant, le poids s'abaissant d'une certaine quantité, l'interrupteur devient libre; le circuit est fermé du côté de l'interrupteur et ouvert du côté du commutateur automatique de l'horloge; ce dernier retombant à l'heure sept minutes suivante, le remontage se produit à nouveau.

L'appareil comporte une distribution de sonnerie d'appel. Cette distribution est opérée par un commutateur automatique analogue à celui de l'électromoteur. Une roue, faisant son tour en vingt-quatre heures et munie de chevilles convenablement disposées, actionne ce commutateur aux moments fixés. Le commutateur a pour but de fermer les circuits électriques. Un second commutateur, actionné par la roue des heures, sert à donner toute la précision possible à la fermeture du circuit qui s'opère à une minute près. La durée du contact peut être réglée de 10 secondes à 2 minutes.

Le débit du moteur électrique actionnant l'horloge est de 2 ampères, la tension du courant étant de 110 volts.

La durée du remontage étant toutes les heures de 0,40 minute, le débit journalier total est de $\frac{110}{100} \times 2 \times 0.40 \times \frac{24}{60} =$ 0 hectowatt heure 352.

En comptant la fourniture du courant à 0 fr. 10 l'hectowatt heure, la dépense journalière est de 0 fr. 0352 et la dépense annuelle de 12 fr. 85.

MM. Chateau père et fils construisent des horloges à ressort et à poids à remontage électrique. Pour les horloges à poids, le remontage se fait au moyen d'une dynamo empruntant le courant du secteur; pour les pendules, il est produit par un petit moteur fonctionnant sous l'action d'un courant de pile et remontant par une vis sans fin le ressort moteur.

Ils exposent également des sonneries électriques dont le marteau à vibrations lentes n'est actionné par le courant qu'à l'aller. Ce courant peut être fourni par des piles ou par une dynamo. Ces appareils sont des trembleurs d'un genre spécial, interrompant le courant au retour. Le marteau est lancé avec de grandes amplitudes, et l'intensité de son produit est considérable.

M. Mildé expose des pendules électriques dans lesquelles, par une combinaison de leviers auxquels un mouvement est transmis par différents engrenages, un contact électrique s'établit et actionne un électro qui remonte automatiquement toutes les minutes le ressort moteur. Celui-ci, par sa détente, agit sur les aiguilles de la pendule automotrice et envoie, en même temps, le courant dans une série de récepteurs.

Dans le système de M. Campiche, de Genève, le mouvement du balancier est entretenu par une poussée régulière donnée au balancier lui-même. Celui-ci, dont la longueur est telle qu'il bat la seconde, porte une tige munie d'un doigt qui, à chaque oscillation du pendule, fait avancer d'une dent une roue à rochet. Cette roue fait donc une révolution complète en une minute. En un point de cette roue est une goupille en platine qui vient frotter sur des contacts de même métal et ferme le circuit d'une pile. La durée du contact est de 7/8 de seconde. Dans le circuit est un électro-aimant qui produit, au moment de l'aimantation, le déclenchement d'une tige métallique légèrement

inclinée par rapport au balancier, et qui imprime à celui-ci une impulsion réglée par un ressort et par suite indépendante de l'intensité du courant de la pile. Dès que le contact cesse, la tige métallique revient à sa position première.

Dans les horloges électriques du système *Hipp,* construites par MM. Péyer, Favarger et Cie, de Neuchatel (Suisse), le pendule est influencé directement par la force électrique. Deux électro-aimants fixes à axe vertical sont placés au-dessous et à très petite distance d'une armature de fer doux fixée à la partie supérieure du pendule et oscillant avec lui. Lorsque le courant passe par les bobines, cette armature est attirée et la portion de force vive perdue pendant la marche est récupérée.

M. Hipp a étudié avec beaucoup de soin la disposition permettant d'envoyer le courant dans les électros. Une lame d'acier, placée horizontalement à mi-hauteur du montant portant la suspension du pendule, est fixée d'un côté dans une borne cylindrique, alors que son autre extrêmité pénètre avec un certain jeu dans une fente d'une borne analogue, et s'appuie sur la pointe d'une vis isolée. En face de cette pointe est un contact en platine avec lequel peut venir en contact l'extrémité de ladite lame. Vers le milieu de celle-ci est suspendue une petite palette d'acier taillée en forme de couteau et très mobile autour de son axe. Cette pièce se trouve dans le plan d'oscillation du pendule. A celui-ci est fixée une contre-palette d'agate munie d'une ou deux légères entailles parallèles au couteau de la palette.

Tant que l'oscillation du pendule a une amplitude assez grande pour que l'entaille de la contre-palette, agissant sur la palette, puisse la dépasser, l'extrémité de la lame reste appuyée contre la vis isolée et l'électricité n'agit pas. Mais si l'amplitude de l'oscillation diminue au delà d'un minimum fixé, au moment où le tranchant de la palette est engagé dans l'entaille de la contre-palette, il y a arc-boutement entre ces deux pièces et, par suite, soulèvement de la lame dont l'extrémité vient toucher le contact en platine. Le circuit de la pile est alors fermé sur l'électro-aimant et le pendule reçoit, par l'attraction de la pièce de fer doux du balancier, l'impulsion qui lui restitue la force vive qu'il a perdue.

L'étincelle d'extra-courant est annulée par une dérivation offerte au courant un instant avant sa rupture par le jeu du levier qui détermine le contact. Avec cette disposition, l'extra-courant naissant s'écoule dans un circuit fermé dans lequel sont intercalées les bobines d'un électro et où il s'annule lui-même.

Dans les appareils exposés par la *Sempire Clock Company* de Saint-Louis (États-Unis), c'est un levier à contrepoids qui, en temps normal, entraîne le mécanisme de l'horloge. Quand ce contrepoids est descendu à la limite inférieure de sa course, il s'établit un contact qui ferme un circuit dans lequel se trouve un électro-aimant. L'armature est attirée et dans ce mouvement exerce une pression sur le levier qui, brusquement relevé, entraîne le contrepoids en interrompant le courant.

REMISE À L'HEURE.

La remise à l'heure électrique est employée pour synchroniser diverses horloges par un appareil chronométrique à mécanisme ordinaire, disposé de façon à envoyer, à un moment déterminé, un courant qui agit sur les organes électriques des horloges à régler.

MM. Chateau père et fils exposent une horloge à ressort et à échappement circulaire formant centre de distribution horaire électrique. Elle est pourvue :

1° D'un distributeur de remise à l'heure système Collin;

2° D'un distributeur de remise à l'heure système Chateau.

Dans le système Collin, le mouvement est disposé de façon que les horloges à régler aient une légère avance. Les horloges sont montées en dérivation sur un circuit commun. Quand l'aiguille d'une horloge arrive sur une heure déterminée, elle ferme son circuit local; les rouages s'arrêtent, mais le pendule continue à battre à vide. Au moment où l'aiguille de l'horloge distributrice arrive sur la même heure, la pile est mise hors circuit et les horloges repartent.

Avec ce système, si l'électricité vient à manquer, les horloges qu'on doit régler restent déréglées. M. Chateau a étudié une disposition qui évite cet inconvénient et a créé un type de remise à l'heure dans lequel les horloges réglées sont remises au point par l'action du courant de l'écart qu'elles ont subi, et on peut ainsi les régler comme les horloges ordinaires. Si l'électricité fait défaut, elles restent réglées dans les mêmes conditions que des horloges sans remise à l'heure. Dans ce système, appliqué principalement aux pendules, la remise à l'heure se fait chaque heure à la demie; on obtient ainsi la correction de l'écart que les appareils ont pu subir soit en avance, soit en retard. Pour les grandes horloges, M. Chateau emploie un système analogue qui remet au point sur l'heure les aiguilles des cadrans et les détentes des sonneries correspondantes. Ce système consiste en un rouage déclenché électriquement et situé en dehors du mécanisme. Ce rouage est formé d'un double train différentiel composé, pour chaque train, d'un satellite et de deux roues dont les nombres de dents sont différents. Le satellite est entraîné par le mouvement de l'horloge ou arrêté par la chute d'un levier. A la fin de l'heure de marche de l'appareil, il y a avance pour l'un des trains ou retard pour l'autre, suivant que c'est le levier du retard ou le levier d'avance qui est tombé, ce qui correspond à une avance ou à un retard de l'horloge à régler.

La maison Borrel présente une horloge-régulateur avec pendule à tige compensée battant la seconde, comportant trois contacts électriques, dont l'un est destiné à opérer la remise à l'heure. Ce contact donne une période de trois minutes toutes les heures.

Des régulateurs de chemins de fer sont remis à l'heure par ce système en employant la ligne télégraphique pour la transmission du courant. Dans les installations faites par ce constructeur, le contact d'émission est indépendant des appareils télégraphiques ou téléphoniques desservis par la ligne, de manière que ceux-ci ne puissent jamais être immobilisés. La seule conséquence de cette disposition est qu'au cas où la ligne serait

occupée au moment de la fermeture du circuit, l'horloge ne serait pas remise à l'heure. Le système de M. Borrel s'applique d'ailleurs à une horloge quelconque sans nécessiter sa transformation. C'est ainsi que ce constructeur expose une horloge du XVIIe siècle avec remise à l'heure électrique. L'une des horloges présentées actionne un appareil allumeur-extincteur pour l'éclairage des cadrans lumineux des gares. Le fonctionnement est automatique et l'on peut faire varier, suivant les saisons, le moment où l'allumage et l'extinction doivent se produire.

SYNCHRONISATION OU DISTRIBUTION DE L'HEURE.

La distribution de l'heure est réalisée au moyen d'horloges électriques ou au moyen d'horloges mécaniques. Dans les deux cas, on dispose un distributeur de courant destiné à fermer à intervalles réguliers, en général assez rapprochés, un circuit électrique dans lequel se trouvent intercalés les compteurs chonométriques ou horloges secondaires. La force électrique est donnée par des piles, des accumulateurs ou par des courants servant à l'éclairage.

L'horloge-régulateur exposée par la maison Borrel, et dont il a été question plus haut, comporte deux contacts destinés, l'un à actionner des récepteurs à cadran et donnant 120 périodes de une seconde par heure, l'autre à actionner les appareils de synchronisation du système Cornu et donnant une période de deux dixièmes de seconde toutes les deux secondes. Dans ce dernier système, l'inventeur s'est proposé d'obliger les balanciers de plusieurs pendules ou horloges à battre la même seconde. Le balancier à synchroniser porte, à sa partie inférieure, un aimant courbé suivant une circonférence ayant pour centre le point de suspension du balancier. L'un des pôles de l'aimant s'engage dans un solénoïde, l'autre dans un second solénoïde fermé sur une résistance variable, qui sert d'amortisseur. Le premier solénoïde est parcouru par un courant dont la période est celle de l'horloge type; le balancier, soumis à l'influence de ce courant et à celle de l'amortisseur, prend un mouvement de même période que celle de l'horloge type. Les montures des solénoïdes sont mobiles pour permettre leur déplacement concentrique par rapport au pendule et faire varier, selon les cas, la grandeur de ses arcs.

Les compteurs ou horloges secondaires sont disposés de sorte que le renversement du courant à chaque émission, combiné avec l'emploi d'un récepteur polarisé conduisant les cliquets d'impulsion et d'arrêt qui déterminent le mouvement des rochets, supprime les doubles contacts et soustrait l'appareil à l'influence des courants atmosphériques.

Pour les installations comprenant un grand nombre de cadrans récepteurs, M. Borrel ajoute à l'horloge régulateur un quatrième contact disposé en commutateur à deux directions et relié mécaniquement à l'armature d'un relais placé à la partie supérieure du rouage. Ce dispositif a pour but de contrôler le fonctionnement de l'horloge-type. Si celle-ci est en défaut, soit par différence de marche, soit par arrêt accidentel, le

régulateur coupe automatiquement la ligne de l'horloge-type et continue seul le service jusqu'à ce que l'état de choses ait été modifié.

L'appareil de distribution de l'horloge électrique exposée par les établissements Henry Lepaute est composé de deux lames de ressort isolées, calées sur l'échappement. La roue d'échappement effectue un tour en deux minutes et porte sur son axe 4 branches d'équerre munies à leurs extrémités de chevilles isolées qui viennent se présenter toutes les 30 secondes sur la circonférence décrite par l'extrémité des ressorts; le conctact a lieu et le courant, envoyé sur la ligne, actionne tous les récepteurs, dont les grandes aiguilles avancent simultanément d'une demi-minute.

Dans les appareils de M. Hennequin, lorsque les horloges électriques doivent être utilisées pour transmettre l'heure, au-dessus de l'armature de l'électro-aimant est un levier articulé à deux branches inégales : la petite branche est actionnée par une bielle fixée à l'armature; sur l'autre, qui est munie d'un contrepoids, est fixé un doigt métallique communiquant avec la masse. A proximité de ce doigt est une lame métallique flexible portée par une pièce isolante. A chaque mouvement de l'armature, le levier subit une oscillation, le doigt se met en contact avec la pièce métallique et l'émission de courant s'effectue sur la ligne. Cette émission est très brusque, le levier étant rappelé de suite dans sa position normale par le contrepoids.

La transmission de la sonnerie est faite au moyen d'un levier fixé sur l'axe portant le bras du marteau de l'horloge distributrice et disposé de manière à envoyer le courant sur la ligne à chaque mouvement du marteau.

L'horloge réceptrice consiste en un électro-aimant dont l'armature porte deux lames élastiques formant cliquet. L'une d'elles agit sur une roue finement dentée formant rochet solidaire de l'axe des aiguilles; cet axe est lui-même solidaire au moyen d'engrenages convenablement disposés, d'un rochet à dents espacées sur lequel agit la deuxième lame élastique. Le premier rochet détermine le mouvement des aiguilles, le deuxième limite exactement l'amplitude de chaque mouvement de rotation déterminé par l'attraction de l'armature et empêche la lancée de l'aiguille. Un autre rochet fixé sur l'axe de la roue à dents fines et une ou plusieurs lames formant cliquet servent de frein et s'opposent au retour en arrière de l'aiguille lors de l'attraction de l'armature.

MM. Chateau père et fils emploient des distributeurs très robustes, afin d'obtenir un contact absolument franc et assuré (la durée est de 1/3 de seconde). Ces distributeurs sont actionnés par des horloges à poids avec remontoir d'égalité, et le courant est lancé toutes les 30 secondes.

Les récepteurs ne présentent pas de dispositions nouvelles. Il en est de même de ceux construits par M. Borrel.

M. Campiche, de Genève, opère, avec son système, la synchronisation de plusieurs horloges de même type. A cet effet, une série de contacts successifs placés contre la roue à rochet permet d'envoyer toutes les minutes sur une ou plusieurs lignes, des courants, qui actionnent les électro-aimants d'une ou plusieurs horloges de même construction que l'horloge distributrice. Les balanciers de toutes les hologes reçoivent

en même temps, au moment de la fermeture du circuit, l'impulsion de la tige actionnée par l'électro-aimant à détente électrique.

M. Hipp, dans les distributeurs construits par MM. Peyer, Faverger et Cie, de Neuchâtel, constitue l'une des surfaces servant à fermer le circuit de la pile par une série de lamelles légères et élastiques juxtaposées sur un seul couteau platiné qui leur sert d'axe commun. Un deuxième couteau forme la seconde partie du distributeur. Dans ces conditions, les surfaces restent nettes et brillantes. Ceci tient à ce que le plan des lamelles n'étant pas rigoureusement parallèle au couteau supérieur, celui-ci les touche successivement. Il en résulte que le maximum d'intensité du courant n'est pas atteint brusquement, et que l'émission prend une forme ondulatoire propre à la suppression des effets nuisibles de l'extra-courant.

Pour le fonctionnement des compteurs ou horloges réceptrices, M. Hipp emploie le principe des courants renversés. L'axe de l'aiguille des minutes ou des secondes porte une roue d'échappement dentée sur le côté et sur la périphérie. Les première dents sont soumises à l'impulsion de deux palettes d'une verge en constituant un échappement à roue de rencontre. L'axe de cette verge porte à la partie supérieure une armature qui, sous l'influence des courants alternatifs envoyés par l'horloge distributrice dans l'électro-aimant du compteur, peut osciller entre les deux pôles de cet électro. A chacune de ces oscillations, l'une ou l'autre des palettes fait avancer d'une demi-dent la roue d'échappement. Celle-ci, ayant 30 dents, fait un tour en une minute ou en une heure, suivant que les émissions de courant ont lieu toutes les secondes ou toutes les minutes. L'armature est polarisée par un aimant fixe qui influence par l'un de ses pôles l'armature et par l'autre les noyaux de l'électro-aimant. Lorsqu'un courant excite celui-ci, l'armature est attirée contre l'un des pôles. Lorsque le courant cesse, l'armature reste appliquée contre le noyau sous l'influence de l'aimant permanent. Lors d'une nouvelle émission de courant de sens contraire à la précédente, le même mouvement se produit en sens inverse. Un cliquet de retient, agissant sur la périphérie dentée de la roue d'échappement, empêche le recul de celle-ci. Les palettes de la verge servent donc de leviers d'impulsion et de buttoirs d'arrêt. Il n'y a pas besoin dans ce système de ressort antagoniste.

M. Cuénod, de Genève, expose dans la Classe 25 une horloge électrique avec transmission de l'heure, étudiée par M. Thury et basée sur un principe tout différent. L'horloge mère ou centre horaire se compose d'un moteur électrique à axe vertical traversé normalement par un moyeu de fer doux sur lequel sont fixées, de part et d'autre de l'axe, deux bobines portant des enroulements en sens inverse et distincts. L'un des enroulements sert au réglage, l'autre est constamment parcouru par un courant continu produit par une source extérieure. Cet ensemble constitue l'inducteur. Celui-ci est entouré par un anneau genre Gramme-Paccinotti fixe, qui constitue l'induit. Le collecteur de la machine est supporté par un plateau placé au-dessus de l'anneau. Le courant continu est amené au moteur par des bagues fixées sur l'arbre vertical au-dessus de la crapaudine qui supporte celui-ci; il est ainsi distribué aux bobines

inductrices et à deux balais mobiles reliés à l'armature fixe. A la partie supérieure de l'arbre vertical est un pendule conique à deux bras croisés, construit de façon que son isochronisme soit conservé sous un angle assez grand. Les bras de ce pendule portent des contacts réglables en relation électrique avec l'enroulement de réglage de l'inducteur. Si la vitesse du moteur s'accélère, les contacts sont rompus, et la rupture du courant qui en résulte a pour effet de réduire la vitesse. On peut ainsi arriver à un mouvement de marche très régulier.

La transmission de l'heure se fait d'une manière fort simple par une transmission de force. Le récepteur est constitué par un petit moteur triphasé synchrone composé d'un aimant en fer à cheval monté sur pivot et de trois bobines induites reliées par un fil commun. Trois prises de courant à 120 degrés les unes des autres sont faites sur le bobinage de l'induit, et le courant est envoyé dans le moteur constituant le récepteur. Lorsque les bobines sont traversées par ce courant, le champ tournant produit provoque la rotation de l'aimant autour de son axe qui commande les aiguilles et l'on obtient un mouvement synchronique avec celui de l'horloge mère.

MM. J.-J. Stockall and sons, de Londres, exposent un régulateur ou horloge mécanique disposée pour opérer électriquement la transmission de l'heure. Le distributeur est constitué par deux leviers parallèles portant chacun un contact en platine, placés en dehors de l'axe de ces leviers, de manière à ce que les contacts puissent se toucher à un certain moment. Ces leviers s'appuient chacun par leur extrémité sur deux cames montées sur l'axe de la roue des minutes et munies d'encoches. Ils sont maintenus appuyés contre les cames par des ressorts à boudin. Lorsque les cames ont fait un tour, les deux leviers amènent leurs contacts en prise et le courant est lancé sur la ligne. Immédiatement après, par le jeu des cames, le contact est rompu brusquement et l'émission du courant cesse.

L'une des cames est placée légèrement en avance sur l'autre, afin que l'un des leviers tombe dans l'encoche avant l'autre et que la rupture du courant soit bien nette.

Le récepteur se compose d'un électro-aimant attirant une armature à chaque émission de courant de l'horloge distributrice. Une roue dentée actionnée par un cliquet transmet le mouvement au train ordinaire d'engrenages conduisant les aiguilles. Deux autres roues d'engrenage, dont les dentures sont en sens inverse et qui engrènent avec des cliquets, s'opposent d'une part au mouvement en arrière de l'axe du récepteur, et, d'autre part, limitent exactement, au passage d'une dent, le mouvement de la roue de commande.

Enfin, M. Stockall a cherché à supprimer le bruit qui se produit ordinairement dans les récepteurs à chaque émission du courant. Ce bruit est produit en partie par la palette qui vient frapper les noyaux de l'électro-aimant. En amortissant le choc au moyen d'une rondelle de gomme ou de caoutchouc, on remédie presque complètement à cet inconvénient.

QUATRIÈME PARTIE.

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ AUX CHEMINS DE FER.

Au fur et à mesure de leur développement, les chemins de fer ont fait de larges applications de l'électricité. On peut affirmer que, sans elle, l'exploitation des chemins de fer, telle qu'elle se pratique aujourd'hui, serait impossible. Sans parler de l'emploi du télégraphe ou du téléphone dont les principes d'application ne diffèrent pas de ceux en usage chez les particuliers ou dans les postes publics, les appareils de contrôle pour la manœuvre des signaux et des aiguille, les appareils de correspondance, les enclenchements électriques, les appareils de block-system sont d'un usage courant dans toutes les Compagnies de chemins de fer tant en France qu'à l'étranger.

Les appareils électriques étant dans la plupart des cas annexés aux appareils mécaniques de manœuvre ou aux signaux, il a paru rationnel, afin d'éviter les doubles emplois, que le Jury d'une seule classe examinât les installations de ce genre exposées par les compagnies de chemins de fer et qui comprenaient la grande majorité des appareils. A la suite d'une entente entre les présidents des Classes 32 et 27, il a été convenu que le Jury de la Classe 32 serait chargé de cet examen.

Nous n'avons donc à rendre compte ici que des appareils électriques destinés aux chemins de fer exposés par les constructeurs en dehors des Compagnies ou des administrations d'État.

La maison Bréguet expose des verrous étudiés par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée et destinés à enclencher à distance des leviers de signaux ou d'aiguilles. Une forte tringle à section rectangulaire dans laquelle est pratiquée une encoche est actionnée horizontalement par le levier du signal ou de l'aiguille. Un verrou tombant dans cette encoche immobilise le levier dans une certaine position (en général, pour les signaux, la position d'arrêt) et le levier ne peut être libéré que lorsqu'un courant, envoyé d'un poste situé à une distance quelconque, a relevé le verrou ou a permis de le relever. Afin de ne pas introduire des efforts supplémentaires dans la manœuvre des leviers, la tringle se meut sur des galets métalliques.

Cette maison présente, en outre, un certain nombre de postes de block-system, entre autres des appareils étudiés par M. Rodary et destinés aux Chemins portugais. Ce sont des serrures en relation mécanique avec les signaux de cantonnement du block qui s'enclenchent automatiquement quand ils sont mis à l'arrêt et ne peuvent être déclenchés que lorsque le poste suivant a, par l'émission d'un courant, annulé l'enclenchement qui s'est produit. Un bouton spécial permet d'envoyer ce courant, mais le bouton, une fois poussé, s'enclenche de manière à ne pouvoir être poussé une seconde fois. C'est d'ailleurs ce programme qui a été adopté par la Compagnie P.-L.-M. dans ses appareils de block-system construits également par la maison Bréguet.

Enfin, ce constructeur expose une dynamo destinée à actionner le bras d'un électro-sémaphore à distance. La Compagnie du Nord emploie cette disposition dans le cas où, pour des raisons de visibilité, on est obligé d'éloigner un de ces signaux du poste où se trouvent normalement les agents chargés de leur manœuvre, ainsi que dans le cas où, le service de certaines stations étant supprimé la nuit, l'électro-sémaphore se trouve à une certaine distance d'un passage à niveau gardé en permanence.

Parmi les appareils exposés par la *Société industrielle des Téléphones* il y a lieu de citer les commutateurs pour enclenchements entre les électro-sémaphores et les signaux d'arrêt qui servent en même temps pour le contrôle de la position des signaux; les pédales Guillaume, constituées par des lames métalliques flexibles disposées perpendiculairement à la voie à une très faible distance de celle-ci, et maintenues entre deux pièces de bois. Elles sont destinées à fermer un circuit électrique par la terre, lorsque les bandages des roues des machines ou des wagons viennent les toucher. Dans le circuit se trouvent une pile et une sonnerie qui se fait entendre pendant tout le temps que dure le passage du train; les contrôleurs d'aiguille système Chaperon, destinés à indiquer aux agents des gares ou des postes de manœuvre des signaux, si les aiguilles sont bien disposées pour la direction voulue et sont bien appliquées contre le rail; les appareils Regnault et les serrures destinées à enclencher les signaux de block employés par la Compagnie de l'Ouest; les sifflets électro-magnétiques de la Compagnie du Nord fonctionnant avec le crocodile Lartigue et destinés à prévenir un mécanicien quand il franchit un signal à l'arrêt; les commutateurs de disque, les répétiteurs de signaux à cloche de la Compagnie du Nord, les répétiteurs d'électro-sémaphores de la Compagnie de l'Est. Les appareils «Memento» étudiés par la Compagnie du Nord en vue de la pénétration des trains dans une section bloquée.

La Société d'*Électricité et d'automobiles Mors* expose un appareil porte-pétards électrique étudié par le service de M. E. Sartiaux, de la Compagnie du Nord. Ce dispositif a pour but de permettre à un agent de faire avancer, au moyen d'un commutateur, un pétard sur le rail au point où l'on veut avertir le mécanicien, et ceci indépendamment de la manœuvre des signaux. L'appareil consiste en un noyau de fer doux qui peut se mouvoir dans un cylindre constituant l'âme de deux bobines enroulées en sens inverse, de telle sorte que le noyau se meut dans un sens ou dans l'autre, suivant que le courant a été envoyé dans l'une ou l'autre bobine. Ce noyau commande un axe vertical terminé à sa partie supérieure par le porte-pétard, qui, par suite de son mouvement de rotation de 90 degrés autour de l'axe, amène le pétard sur le rail ou l'en éloigne, en le faisant disparaître dans une boîte de protection. Trois fils sont nécessaires pour l'envoi du courant: un pour une extrémité de chacune des bobines, l'autre servant de retour commun pour les deux autres extrémités. Le commutateur de manœuvre est à deux directions.

Afin d'empêcher le pétard de se déplacer sur le rail, par suite des trépidation de la voie qui peuvent se produire, deux verrous placés sur les joues extrêmes du solénoïde enclenchent le noyau dans chacune de ses positions limites à l'aide de deux encoches

dans lesquelles peut s'engager, par son poids, chacun de ces verrous. Le courant passant dans le solénoïde a pour effet de dégager immédiatement le verrou, ce qui permet le mouvement du noyau.

Cette Société présente également des électro-sémaphores de la Compagnie du Nord munis de tous les perfectionnements et additions qui y ont été apportés par les services électriques de cette Compagnie.

Ces appareils comprennent la dépendance des sections successives de block par l'enclenchement des grandes ailes avec les petits bras de la même direction, l'enclenchement du disque à distance avec la grande aile, la désolidarisation conditionnelle dans les stations et aux points de garage par l'addition de commutateurs permettant de détruire la dépendance des sections situées de chaque côté de la station, quand un train quitte la voie principale dans cette station sans continuer sa route; les appareils « memento » créés dans le but de faciliter au garde-sémaphore le comptage des trains qui pénètrent dans une section bloquée et de lui rappeler l'obligation de mettre la grande aile à l'arrêt, après sa mise à la voie libre par le poste suivant, autant de fois qu'il a pénétré de trains dans cette section. L'appareil consiste en une boîte percée d'une fente dans laquelle le conducteur-chef d'un train, qui entre dans une section bloquée, introduit un jeton qui lui a été délivré par le mécanicien. Un numéro d'ordre apparaît derrière un guichet, marquant le nombre de jetons introduits. Lorsque la grande aile tombe à voie libre, libérée par le poste suivant, uns sonnerie se fait entendre, et le tintement se produit à chaque opération jusqu'à ce que le nombre de manœuvres soit égal au nombre de jetons introduits dans le « memento ». A ce moment, le service normal est repris.

Depuis un certain temps les études des ingénieurs de chemins de fer et des constructeurs se sont portées vers la manœuvre électrique des signaux et des aiguilles. La complication et le développement des postes à enclenchements mécaniques, pour répondre aux exigences toujours croissantes du service des grandes gares, ont démontré l'utilité qu'il y aurait à entrer dans cette voie. Deux systèmes bien distincts peuvent être employé pour arriver au résultat voulu : les dynamos recevant un courant du poste de manœuvre, ou les solénoïdes attirant un noyau de fer doux qui, par une transmission, actionnent les appareils à manœuvrer.

La Société des *Établissements Postel-Vinay* expose le premier système étudié par MM. Ducousso et Rodary, dans lequel un poste d'enclenchement actionne électriquement une aiguille et un signal. Ce poste est disposé pour huit leviers, enclenchés mécaniquement entre eux suivant les besoins. Chaque levier est relié par une bielle à un commutateur qui produit les contacts nécessaires pour effectuer la transmission du courant aux appareils à manœuvrer, ainsi que le contrôle de chaque mouvement. Un électro-aimant, spécial à chaque levier et placé dans le circuit de contrôle de l'appareil récepteur correspondant, commande un verrou, qui autorise ou arrête le mouvement du levier commutateur, suivant que l'appareil a bien ou mal fonctionné. En regard de chaque levier, à la partie supérieure du bâti, est ménagé un petit guichet dans lequel apparaît un voyant commandé par l'électro-aimant de contrôle. Une sonnerie, com-

mune à tous les appareils, tinte lorsqu'un voyant apparaît. Ce tintement indique que l'aiguille est restée entrebaillée.

L'appareil de commande d'une aiguille comprend : 1° un distributeur qui, sous l'action du courant, dispose les communications dans l'ordre voulu pour diriger le sens de la marche du moteur et opérer le contrôle du fonctionnement; 2° un moteur dynamo sous cuirasse attelé à une vis tangente, qui actionne, au moyen d'un galet excentrique, le levier de manœuvre et de calage de l'aiguille; 3° un contrôleur de calage qui ferme le circuit de contrôle seulement quand le galet, qui en est solidaire, cale l'aiguille; 4° un contrôleur d'aiguille actionné par une barre de connexion spéciale fixée à la lame de l'aiguille, et ne fermant le circuit de contrôle que lorsque cette lame est bien appliquée contre le rail.

Dans ces conditions, pour que le circuit de contrôle soit fermé, il faut que les positions respectives du distributeur, du calage et de l'aiguille soient en parfaite concordance.

L'ensemble de ces appareils est monté sur un bâti en fonte et recouvert par un couvercle rectangulaire qui en protège les organes.

La liaison de l'appareil moteur à l'aiguille se fait soit directement par attelage rigide, soit par attelage élastique si l'on veut que l'aiguille soit talonnable.

L'appareil de commande d'un signal (disque) comprend un moteur un peu différent de celui décrit pour l'aiguille. La roue commandée par la vis sans fin porte un plateau fou muni d'un pignon ; la roue et le plateau constituent un embrayage magnétique et peuvent s'entraîner par adhérence dans un sens déterminé, tandis qu'une solidarité absolue est assurée par un encliquetage dans le sens opposé. Le moteur n'a qu'un sens de rotation. La course du plateau d'embrayage est limitée à 180 degrés; ce plateau porte un taquet qui, à fin de course, déclenche un interrupteur rapide placé dans le circuit du moteur. Enfin, le pignon du plateau engrène avec un secteur denté calé sur un axe vertical, qui porte un levier relié par une bielle avec le bras du signal. Le contrepoids de rappel ordinaire met le signal à l'arrêt, et un contrôleur, monté sur l'axe du signal, ferme le circuit de contrôle dans la position d'arrêt. Le signal est maintenu à voie ouverte par un courant continu excitant le moteur et l'embrayage de manière à équilibrer l'action du contrepoids de rappel. La rupture du circuit libère l'embrayage, et le signal se met à l'arrêt par l'action de son contrepoids; il est maintenu dans cette position par l'encliquetage du plateau et de la roue. La rupture du circuit se produit au moteur dès que le signal est à voie libre.

Les expériences qui ont été faites avec cet appareil ont montré que la dépense d'électricité était assez réduite. Un mouvement d'aiguille et un mouvement de signal pour passer de « voie fermée » à « voie libre » exige 100 à 120 watts pendant deux secondes. Le maintien d'un signal à « voie libre » consomme 20 watts.

Des appareils du second système indiqué ci-dessus sont exposés par MM. Guénée et Cie. L'emploi d'électro-aimants ou solénoïdes excités par un courant permet d'obtenir des efforts considérables en combinant convenablement l'intensité du courant envoyé dans

l'électro et le nombre de tours de fils qui constituent la bobine. L'un des électro-aimants exposés à la Classe 27, avec une course de 22 centimètres et un effort constant de 650 kil., produit un travail de 143 kilogrammètres en une seule attraction. Dans la construction de ces appareils MM. Guénée ont cherché surtout à obtenir le maximum de flux pour un nombre d'ampères-tours déterminé, et ont étudié la forme des cuirasses pour avoir le minimum de frottement et pour concentrer la presque totalité de la résistance magnétique du circuit au point où doit se produire la variation du flux.

Une application intéressante de ce système consiste dans la manœuvre des signaux et aiguilles. Les électro-aimants qui actionnent celles-ci font un effort constant de 200 kilogrammes environ avec une course de 10 centimètres. Le système complet de manœuvre et de verrouillage d'aiguille permettant la prise en talon a été étudié par M. Bouchet. Le mécanisme est enfermé dans une boîte, à l'exception du contrepoids, et il suffit d'atteler la pièce de manœuvre d'aiguille à la chape fixée à la tige sortant de la boîte pour obtenir le fonctionnement. Deux interrupteurs, mis chacun à une fin de course, permettent de rompre le circuit lorsque l'aiguille est arrivée en place. Ces interrupteurs sont commandés par des verrous et ne peuvent rompre le circuit que quand l'aiguille est verrouillée. La position des verrous est assurée par un contrepoids qui empêche tout mouvement de l'aiguille en temps normal, mais qui peut céder sous la pression produite par la jante des roues des véhicules, lorsque l'aiguille est prise en talon.

La dépense d'énergie est de 10 ampères sous 90 volts pendant 7/10 de seconde; la course prévue pour l'aiguille est de 12 centimètres avec une résistance de 180 kilogrammes.

Avec ce système, la manœuvre des aiguilles se fait très rapidement, ce qui peut présenter des avantages, par exemple, dans les postes manœuvrant les aiguilles des gares de triage par la gravité.

La Compagnie de l'Ouest a fait une application de ce système pour la manœuvre des aiguilles et des signaux de la ligne des Invalides en service au moment de l'ouverture de l'Exposition de 1900.

MM. Peyer, Faverger et Cie, de Neuchâtel, exposent plusieurs appareils employés dans les chemins de fer, entre autres un type perfectionné du disque électrique Hipp, dont le mouvement est produit par un poids qui descend dans une colonne supportant la cible du disque et qui est déclenché à distance par un courant envoyé du point de manœuvre du signal. L'appareil employé à cet effet comprend un contrôle optique et acoustique des positions du disque. L'installation comporte deux fils de ligne, le retour du courant se faisant par la terre.

Le montage de ce disque a été complété par un système de détente électrique disposée de telle sorte qu'un train puisse opérer au passage la fermeture automatique du signal.

Cette maison expose également un mécanisme complet de transmetteur automatique de gare pour passer les signaux par les cloches électriques fonctionnant avec des cou-

rants de pile. L'agent qui passe le signal n'a qu'à faire faire rapidement deux tours à une petite manivelle et à laisser le déroulement se produire en sens inverse. Dans ce mouvement, un disque à saillies convenablement disposées établit ou interrompt des contacts et par suite ferme ou ouvre le circuit du courant sur la ligne. Il y a autant de disques placés sur le même arbre à côté les uns des autres qu'il y a de signaux différents à passer. Une aiguille, se mouvant sur un cadran et pouvant être manœuvrée de l'extérieur, amène le disque voulu au droit du commutateur de l'appareil.

Dans cette exposition figure, en outre, une horloge de contrôle de la marche des trains. L'appareil est installé dans une station, et comporte une bande de papier qui se déroule proportionnellement au temps; un électro-aimant, relié électriquement à des contacts fixes ou pédales répartis le long de la voie, inscrit, au moyen d'un levier mû par son armature, des points sur la bande de papier chaque fois que le train en marche ferme le circuit en passant sur les contacts fixes. On peut ainsi vérifier la vitesse des trains sur certains points déterminés.

CINQUIÈME PARTIE.

INDICATEURS ET ENREGISTREURS À DISTANCE POUR LES PHÉNOMÈNES DE TOUTE NATURE.

AVERTISSEURS.

AVERTISSEURS D'INCENDIE. — TRANSMETTEURS D'ORDRE.

L'appareil avertisseur d'incendie construit par la maison Siemens et Halske, de Berlin, très analogue à celui adopté par les sapeurs pompiers de Paris, existe soit seul, soit accouplé à un avertisseur d'accident; les deux appareils comprennent, d'ailleurs, les mêmes organes. La personne qui veut se servir de l'appareil brise une petite glace derrière laquelle se trouve une clef permettant d'ouvrir un compartiment renfermant une poignée. En tirant cette poignée, on met en mouvement un mécanisme d'horlogerie, qui lance un courant sur la ligne et fait fonctionner un télégraphe Morse automatique placé dans le poste des sapeurs pompiers. Ceux-ci, à leur arrivée, ont seuls le droit d'ouvrir un second compartiment dans lequel se trouve un poste téléphonique ainsi qu'un transmetteur Morse, ce qui leur permet de téléphoner ou de télégraphier au poste central.

Les appareils de MM. Siemens et Halske pour transmettre les commandements à bord des bateaux ont été étudiés de manière à présenter une étanchéité aussi parfaite que possible et une grande solidité, conditions indispensables pour des appareils soumis à toutes les intempéries et dont la manœuvre est incessante. La partie essentielle est un dispositif de six bobines verticales dant les noyaux en fer portent à leurs extrémités inférieure et supérieure des pôles, dont les épanouissements sont disposés radialement, et entre lesquels peut tourner une armature. L'entrefer est aussi réduit que possible. Ces bobines sont disposées circulairement et conjuguées par paires suivant un diamètre. Les extrémités de chacune de ces trois paires de bobines communiquent d'une part avec trois plots d'un commutateur, d'autre part avec une ligne de retour commune dans le circuit de laquelle se trouvent une source d'électricité (piles ou de préférence accumulateurs) et une sonnerie. Cette ligne de retour est reliée au centre de rotation de la manette du commutateur. Si l'on tourne cette manette, les noyaux en fer doux des paires de bobines s'aimantent et le champ tourne dans le même sens entraînant dans le mouvement l'armature centrale. La force avec laquelle est mue l'armature est d'autant plus grande que le courant qui passe dans des bobines est plus intense. Les mouvements de l'armature sont transmis à une aiguille, tournant devant un cadran, au moyen d'une vis sans fin fixée sur l'arbre vertical portant l'armature

et d'un pignon fixé sur l'arbre portant l'aiguille. Par ce procédé, on évite toute oscillation de celle-ci.

Dans la transmission des commandements, on demande, en général, un contrôle du signal d'appel; la sonnerie intercalée dans le circuit de retour se met à tinter dès que l'appareil est mis en mouvement et donne ainsi l'indication voulue. De plus si, après avoir actionné le commutateur, la sonnerie reste muette, on peut être assuré qu'il y a une avarie soit dans les conducteurs, soit dans la source d'électricité.

Grâce à la disposition des connexions, il suffit de 7 fils pour transmettre un nombre quelconque de commandements avec réponse et signal d'avertissement automatique.

Le récepteur, comme le transmetteur, comporte deux aiguilles mobiles, l'une de commande, actionnée à la main, l'autre de réponse, quand l'ordre a été exécuté. La position des deux aiguilles doit alors coïncider.

Les transmetteurs d'ordre de M. Vialet-Chabraud, constructeur à la Ciotat, fonctionnent au moyen d'accumulateurs ou de dynamos et sont formés de commutateurs à plusieurs directions combinés avec des lampes témoins montées en séries et des sonneries avertisseurs. Aussitôt que le levier du transmetteur est placé sur un ordre quelconque, le circuit est fermé sur les lampes correspondantes du transmetteur et du récepteur; ces lampes s'allument et les sonneries tintent. Le mécanicien lit l'ordre transmis sur le récepteur, place le levier au droit du numéro correspondant et coupe par ce fait le circuit. L'extinction des lampes et l'arrêt de la sonnerie indiquent au poste transmetteur que l'ordre a bien été reçu et compris.

L'appareil récepteur est rendu solidaire des organes de la mise en marche de la machine de manière à avoir l'assurance que l'ordre a été exécuté.

AVERTISSEURS DE TEMPÉRATURE.

L'avertisseur de Gaulne et Mildé est basé sur la dilatation inégale, sous l'influence d'une élévation de température, de lames composées de différents métaux. Les deux branches qui constituent l'appareil sont formées d'acier, de cuivre et de zinc. L'augmentation de température force les branches à se courber jusqu'à un contact fixe, et, dès que le contact a lieu, une sonnerie électrique, placée dans le circuit d'une pile dont les pôles sont reliés à ces branches, se fait entendre. Une tige métallique, qui peut glisser entre les lames, permet de se servir de l'appareil comme sonnerie d'appel ordinaire. Cette faculté présente l'avantage de donner à chaque instant un contrôle du fonctionnement de l'appareil.

M. Hicks expose dans la section anglaise un appareil dont le principe est basé sur l'emploi d'un thermomètre à mercure, dont le mercure communique avec l'un des pôles d'une pile. Quand, sous l'influence de la chaleur, le mercure se dilate et arrive au delà d'un certain point fixé d'avance, il vient au contact d'un index métallique placé dans le tube et relié électriquement à l'autre pôle de la pile. Dans le circuit se trouve une sonnerie, qui entre alors en action.

La position de l'index peut être modifiée au moyen d'un aimant.

Pour les hautes températures le thermomètre à deux branches est porté par un disque pouvant tourner autour d'un axe situé entre les deux branches.

Le mercure est ainsi éloigné de l'index, qui est entraîné avec le tube, ce qui permet de retarder le moment où le mercure, dans son mouvement ascensionnel, viendra le toucher.

Enfin, M. Hicks expose également un avertisseur dans lequel la dilatation d'une petite barre métallique provoque, sous l'influence de l'augmentation de température, le déclenchement d'un mouvement d'horlogerie en même temps que le tintement d'une sonnerie.

M. Vila, dans la section espagnole, présente un appareil *le Phénix,* ayant quelques analogies avec le précédent mais donnant des résultats plus complets. Le Phénix permet d'indiquer à distance diverses températures et peut servir d'avertisseur automatique d'incendie lorsque la température dépasse un chiffre déterminé élevé. La partie essentielle de l'appareil est un thermomètre à mercure dans le tube duquel on a inséré à différentes hauteurs (de 5 en 5 degrés par exemple) des fils de platine faisant à l'intérieur une légère saillie de manière à pouvoir être en contact avec le mercure. Chacun de ces fils est relié par un conducteur à l'un des plots de contact d'un commutateur circulaire. Sur chaque plot est inscrit le degré correspondant à celui du thermomètre auquel aboutit le fil de platine. La manette du commutateur peut être amenée sur l'un quelconque de ces plots. L'axe de la manette est relié par un conducteur à un fil de platine inséré dans le réservoir du thermomètre. Dans le circuit de ce conducteur sont intercalées les piles, une sonnerie et une lampe à incandescence à faible voltage.

Le thermomètre est placé dans la salle dont la température ne doit pas dépasser *m* degré. Dans le poste d'observation est installé le commutateur, la manette étant sur le plot *m* degré. Dès que la température dépasse *m,* le circuit est fermé par le mercure du thermomètre et la sonnerie tinte. Si l'on veut connaître à tout instant la température de la salle, on n'a qu'à manœuvrer le commutateur en amenant la manette successivement sur les différents plots et en partant de a température la plus élevée. Dès que la sonnerie se fait entendre, on a, avec une approximation de quelques degrés, la température indiquée par le thermomètre. Une lampe à incandescence placée, dans le circuit, permet d'avoir un signal optique en même temps que le signal acoustique.

Cet appareil a été adopté par la marine espagnole pour les vaisseaux, poudrières et magasins d'explosifs.

INDICATEUR DE DÉPLACEMENT POUR LES BATEAUX.

M. J. Hicks a étendu le principe de ses indicateurs de température à un appareil destiné à indiquer à distance les oscillations maxima des navires.

L'appareil se compose d'un tube circulaire rempli à moitié de mercure; à la partie

IMPRIMERIE NATIONALE.

inférieure du tube est un étranglement, qui a pour effet d'amortir les mouvements souvent trop brusques du mercure. Ce tube est fixé sur un plateau circulaire gradué sur sa circonférence. L'appareil est fixé sur un panneau perpendiculaire à l'axe du navire si l'on veut observer le roulis, parallèle à cet axe si l'on veut observer le tangage. Au centre du plateau est un bouton qui permet de manœuvrer un levier destiné à indiquer le degré de l'inclinaison à constater. Lorsque le mercure atteint ce point, un contact électrique s'établit et la sonnerie installée dans le circuit, qui y aboutit, se met à tinter. Un index, placé sur le mercure dans la branche opposée, permet de constater l'inclinaison maximum du navire.

APPAREILS ENREGISTREURS À DISTANCE.

INDICATEURS DE NIVEAU D'EAU.

M. Laurent Florentin expose un appareil qui se compose d'un tambour en cuivre sur lequel s'enroule une corde métallique à l'une des extrémités de laquelle est fixé un flotteur; l'autre extrémité est attachée à un point fixe. Sur la portion de la corde qui se trouve entre ce point et le tambour est un contrepoids monté sur une poulie qui fait équilibre au flotteur sans le gêner dans son mouvement de montée ou de descente. La longueur de corde nécessaire est égale à la hauteur du réservoir. Concentriquement au tambour est une résistance électrique circulaire munie de plots, sur lesquels vient frotter un commutateur fixé sur l'axe du tambour. Un voltmètre, une pile et un commutateur à 2 plots complètent l'installation. Le voltmètre est placé dans le circuit d'une pile dont un pôle va retrouver la terre en passant par les plots de la résistance circulaire et le commutateur du tambour. Chaque plot de la résistance correspond à une division du cadran du voltmètre. La lecture des indications données se fait donc facilement puisque les divisions du cadran correspondent à la hauteur du flotteur dans le réservoir. Il est bon d'étalonner l'appareil de temps en temps. Pour cela, on emploie des résistances connues placées dans le circuit allant du voltmètre à la résistance circulaire.

Dans les appareils hydrométrographes de M. Parenthou, le transmetteur est muni d'un tambour sur lequel s'enroule une chaîne portant à l'une de ses extrémités un flotteur convenablement équilibré. Le mouvement du tambour commandé par le flotteur fait basculer soit à droite soit à gauche, suivant l'ascension ou la baisse du niveau de l'eau, un tube contenant du mercure. Chaque renversement de celui-ci agit, au moyen d'un galet, sur un système de contacts en platine qu'il fait plonger d'un côté ou de l'autre dans des godets contenant du mercure. Il en résulte une fermeture de circuit d'une pile, soit sur le pôle positif, soit sur le pôle négatif. La ligne aboutit à un relais polarisé, qui devient le distributeur de courant dans les deux électro-aimants du récepteur. Celui-ci se compose d'un cadran sur lequel se meut une aiguille indicatrice et d'un style inscripteur des variations de niveau sur un tambour chronométrique.

M. Parenthou arrive avec un seul fil à transmettre des indications très précises sur 3 cadrans enregistreurs.

En dernier lieu, l'appareil transmetteur a été légèrement modifié afin de supprimer les contacts à mercure. Dans ce nouvel appareil le tambour est disposé de manière qu'une bille mobile dans une rainure circulaire vienne fermer le contact de ressorts fixés sur la circonférence du tambour à une hauteur convenable. L'effet produit est d'ailleurs le même que dans l'appareil primitif.

MM. Peyer, Faverger et Cie exposent, dans la section suisse, un appareil comprenant un transmetteur et un récepteur. Le transmetteur est installé au-dessus du réservoir à contrôler et consiste en un axe muni d'une roue dentée sur laquelle engrène une chaîne de Gall. Celle-ci porte à l'une de ses extrémités le flotteur et à l'autre un contrepoids. Suivant que le niveau monte ou baisse dans le réservoir, l'axe reçoit un mouvement de rotation dans un sens ou dans l'autre. Ces mouvements alternatifs provoquent la fermeture de contacts électriques qui envoient le courant d'une pile tantôt sur une ligne, tantôt sur une autre, ces deux lignes étant reliées au récepteur. Ces contacts ne durent qu'une fraction de seconde, de manière à faire travailler la pile le moins de temps possible.

Le transmetteur est disposé de manière à donner un contact pour chaque variation de niveau de 10 ou de 5 centimètres. On peut néanmoins le régler, dans certains cas particuliers, pour des variations plus faibles. Le récepteur est un appareil à cadran ou un enregistreur. Il comprend deux électro-aimants dont les armatures agissent par des cliquets sur une roue d'échappement, et la font tourner, l'une à gauche, l'autre à droite, suivant que l'émission du courant a été produite par un mouvement de baisse ou par un mouvement de hausse de l'eau dans le réservoir.

Dans l'appareil à cadran simple, l'aiguille indicatrice est calée sur l'axe de la roue d'échappement. Dans l'appareil enregistreur, le mouvement de cette roue est transmis à un chariot qui porte le traceur et qui se déplace en ligne droite dans le sens de la largeur de la bande de papier enregistreur, traçant ainsi la courbe des variations du niveau de l'eau. Sur le bord de la bande de papier, une roue imprime automatiquement, au fur et à mesure du déroulement, la division des heures. Le récepteur est, en outre, muni de contacts d'alarme, actionnant une sonnerie, lorsque le niveau maximum ou minimum est atteint.

APPAREIL ENREGISTREUR

DES FLÈCHES DES TABLIERS MÉTALLIQUES.

L'appareil étudié et présenté par M. Parenthou est basé sur le principe suivant : en un point d'une poutre métallique est établi un récipient contenant un liquide jusqu'à un certain niveau ; ce récipient communique par un tube avec un autre récipient placé sur un point fixe situé en dehors de la poutre. Le niveau du liquide, dans les deux récipients, s'établit dans le même plan horizontal ; il en résulte que tout abaissement de

l'ensemble du récipient mobile détermine dans le récipient fixe un abaissement correspondant et inversement.

Un flotteur placé dans l'appareil fixe suit les variations du niveau du liquide et communique ce mouvement, par l'intermédiaire d'une transmission, à un porte-style qui inscrit sur la surface d'un cylindre, animé d'un mouvement de rotation régulier, les oscillations produites par les déplacements du flotteur. En outre, un style spécial, dit *de numérotage,* et animé d'un mouvement de va-et-vient à l'aide d'un trembleur, permet de numéroter les oscillations produites par le style pendant l'essai.

Le mouvement de rotation du cylindre est obtenu au moyen d'un dispositif commandé par un électro-aimant et que l'opérateur met en action au moment précis où l'expérience a lieu. Avec ce système, on peut déterminer la flexion d'une ou plusieurs poutres en un nombre quelconque de points. Chaque appareil comporte trois circuits : l'un qui commande le style de numérotage, le second qui sert à écarter du cylindre, au moment voulu, les styles enregistreurs, le troisième qui donne le mouvement au cylindre. On peut, avec ce procédé, commander la manœuvre des appareils d'un point éloigné, pourvu que les différents circuits électriques soient réunis au centre d'opération. Cette faculté est souvent avantageuse, entre autres dans les épreuves avec trains en mouvement que l'on fait subir aux ponts de chemins de fer.

CHRONOGRAPHES ET CHRONOSCOPES.

Les chronographes exposés par MM. Peyer, Faverger et Cie, dans la section suisse, ont été étudiés par M. Hipp, et ont pour but de marquer le commencement et la fin et, par suite, aussi la durée d'un phénomène rapide. L'appareil à bande a l'aspect d'un télégraphe Morse. Le papier se déroule sur une roue en passant entre deux cylindres, dont l'un est calé sur l'un des mobiles d'un mouvement d'horlogerie muni du régulateur Hipp à lame vibrante. Deux plumes, avec leurs réservoirs, sont fixées aux extrémités de deux leviers horizontaux articulés sur deux pièces coudées faisant corps avec les armatures de deux électro-aimants fixes. Le moteur du train d'horlogerie est un poids dont la poulie est embrassée par une chaîne sans fin. Celle-ci, après avoir passé sur les dents de la roue motrice, sur celles de la roue de remontage et sur une poulie-guide, redescend pour embrasser la poulie du contrepoids. Cette disposition permet de remonter le poids moteur sans troubler la marche de l'appareil. Un commutateur fonctionnant soit automatiquement, soit à la main, permet de faire les observations. Avec cet appareil, on peut enregistrer les phénomènes à un centième de seconde près.

Un autre appareil, dit *chronographe à grande vitesse,* permet d'enregistrer les millièmes de seconde sur de petits cylindres de 32 millimètres de diamètre, dont le plus rapide fait 5 tours par seconde, ce qui équivaut à une vitesse périphérique de 1/2 millimètre par millième de seconde. La surface des cylindres est, avant l'expérience, noircie avec du noir de fumée. Les traceurs sont de petites pointes qui, sous l'influence des électro-aimants, se déplacent parallèlement à l'axe du cylindre. Il y a deux électro-

aimants, et chacun d'eux commande deux traceurs solidaires, dont l'un inscrit sur le cylindre à grande vitesse et dont l'autre inscrit sur un cylindre à petite vitesse faisant un tour en 20 secondes. Cet appareil est employé surtout pour déterminer l'intervalle de temps qui sépare deux phénomènes très rapprochés et pour constater quel est celui qui s'est produit le premier.

Enfin, le chronoscope Hipp à longue marche, qui permet, comme les appareils décrits ci-dessus, d'apprécier de très faibles intervalles de temps, donne des indications fugitives au moyen d'aiguilles se mouvant sur des cadrans divisés, au lieu d'enregistrer les phénomènes d'une façon durable. L'appareil se compose d'un mouvement d'horlogerie à poids réglé par un régulateur à lame vibrante, et de deux électro-aimants agissant sur une armature commune qui, suivant la position qu'elle occupe, maintient deux aiguilles au repos ou les laisse participer au mouvement des rouages. Ces aiguilles indiquent, sur des cadrans divisés, l'une les dixièmes, l'autre les millièmes de seconde. Le courant est envoyé dans les bobines par des interrupteurs automatiques convenablement disposés, de telle sorte que les aiguilles soient arrêtées avant le commencement du phénomène à observer, qu'elles soient mises en marche au moment précis où il commence, et qu'elles soient de nouveau arrêtées au moment où il cesse.

CONTRÔLEURS DE RONDES.

Dans l'enregistreur électrique des rondes de nuit exposé par la maison Borrel, les rondes sont inscrites par une plume encrée sur un cadran en papier divisé en heures et fractions, dans l'ordre et le temps où le veilleur exécute sa tournée. A cet effet, le veilleur est muni d'une manivelle avec laquelle il manœuvre les postes de contrôle qui sont montés en série, de façon à ne nécessiter qu'un fil de ligne. Le mécanisme est disposé de telle sorte que la plume de l'enregistreur revient en arrière dans le cas où le veilleur a modifié en avance l'ordre indiqué pour la ronde. Un avertisseur d'alarme est annexé à l'appareil et est mis en action par le veilleur, qui peut ainsi indiquer, le cas échéant, le poste où se trouve le danger signalé. Le dispositif qui permet d'obtenir ce résultat est une sorte de télégraphe à cadran dans lequel le démarrage de l'aiguille, en dehors de la position de zéro, provoque la fermeture du circuit d'une sonnerie locale.

Dans un autre appareil, l'enregistreur à stylet perforateur, présenté par la même maison, un cadran de rondes est actionné par une pendule. Un trembleur à stylet perforateur provoque, lors de la fermeture du circuit d'un électro-aimant qui le commande, la perforation du papier du cadran à l'heure de l'achèvement de la ronde. Chaque poste de contrôle est constitué par un commutateur à deux directions que le veilleur manœuvre au moyen d'une clef qu'il tourne à droite pour une ronde donnée, puis à gauche pour la suivante ; au dernier poste se trouve un seul bouton. Les postes sont branchés sur deux fils communiquant aux pôles opposés de deux piles, dont le fil les accouplant sert de retour commun. Un relai à armature polarisée ferme le circuit du trembleur-pointeur à chaque ronde. Le veilleur est ainsi obligé, pour enregistrer une nouvelle ronde,

à repasser par tous les postes pour inverser le courant. L'omission de cette manœuvre à l'un quelconque des postes se traduirait par une rupture de circuit. Le système est complété par un indicateur optique placé au dernier poste de contrôle, dans lequel on doit modifier le sens de manœuvre de la clef. En outre, un interrupteur automatique ne laisse la ligne à la disposition du veilleur que pendant un temps double de celui nécessaire à l'accomplissement de son service. De cette manière, le veilleur ne peut frauder en préparant une nouvelle ronde aussitôt que l'avant-dernière est terminée.

L'appareil contrôleur de rondes de M. Pecquet est un système des plus complets, dans lequel il y a autant de postes de contrôle que de points à visiter à chaque ronde (l'appareil exposé comprend vingt-cinq postes). Tous les postes communiquent avec un poste de garde unique. Le veilleur de ronde est muni d'un poste téléphonique adapté par un crochet à un baudrier qu'il porte sur une épaule et comportant un indicateur de contrôle placé à la partie supérieure du baudrier, près de son oreille. Un conducteur souple, terminé par une fiche, permet d'établir la communication avec les postes de contrôle. Chacun de ceux-ci se compose d'une petite boîte en fonte dans laquelle sont fixés deux ressorts plats en relation avec les fils conduisant au poste de garde. Dans ce poste, se trouve un appareil comprenant un distributeur fixe, de forme circulaire, monté sur matière isolante et portant vingt-cinq ressorts plats rayonnants (autant que de postes de contrôle), et une couronne métallique circulaire fixée au centre du distributeur en relation électrique, d'une part, avec vingt-quatre des ressorts rayonnants, d'autre part, avec le commutateur de l'appareil téléphonique du poste. Le vingt-cinquième ressort est destiné à donner le contrôle.

Au centre du distributeur, et perpendiculairement à son plan, est disposé un axe isolé de la couronne contre laquelle viennent s'appuyer les ressorts. Cet axe porte les organes destinés à assurer son mouvement rotatif dans un sens ou dans l'autre ; il porte, en outre, à son extrémité, près du distributeur, un bras muni d'un talon qui s'appuie fortement sur les ressorts du distributeur et peut ainsi les isoler de la couronne métallique avec laquelle ils sont en contact. En avant de ce bras, sur un canon tournant librement sur l'axe, sont fixés deux rochets de vingt-cinq dents chacun et de denture inverse. Un électro-aimant dont la palette est munie d'un cliquet, engrenant avec les dents d'un rochet, imprime, lorsqu'il y a eu émission puis cessation du courant, un mouvement de rotation à l'ensemble des deux rochets. En outre, sur l'axe portant les rochets et en avant de ceux-ci, se trouve un bras muni d'un cliquet qui engrène dans la denture du deuxième rochet ou s'en éloigne. Un ressort à boudin, tendu pendant la rotation de l'axe, et un rateau commandant un pignon fixé à l'extrémité de cet axe, servent de moteur pour le rappel au point de départ lorsque le contrôle est terminé. Enfin, le rateau porte une plume Richard qui enregistre sur un cylindre les différents déplacements angulaires de l'appareil et, par suite, sert de contrôle aux opérations.

Dans ces conditions, quand le veilleur de ronde introduit sa fiche dans la boîte de contrôle du poste à contrôler, il ferme le circuit à travers son indicateur de contrôle, le fil de retour commun, le fil de ligne qui est en communication avec le ressort corres-

pondant du distributeur (le bras muni du talon s'appuyant sur ce ressort), l'axe portant les rochets, le commutateur, les bobines de l'électro-aimant et la pile. Dans cette opération, le veilleur a préparé le mouvement rotatif des rochets et, par suite, de l'axe. Le retrait de sa fiche produit l'ouverture du circuit et, sous l'action du ressort antagoniste de l'électro-aimant, tout le système fait 1/25° de tour. A ce moment, la communication est établie par l'intermédiaire du bras à talon avec un nouveau poste de contrôle (le poste suivant). Ces mouvements se répètent autant de fois qu'il y a de postes contrôlés. Au dernier, le deuxième cliquet, rencontrant une butée fixe, bascule sous l'action du ressort à boudin qui a été tendu par la rotation de l'axe, et par l'intermédiaire du rateau et du pignon, l'axe tourne en sens inverse, le cliquet se remet en prise avec le rochet et l'appareil se trouve dans la même situation qu'au point de départ.

Si le veilleur de ronde, après avoir retiré sa fiche de la boîte de contrôle, l'y enfonce à nouveau, la sonnerie d'alarme se fait entendre au poste de garde et si, à ce moment le gardien de ce poste décroche son téléphone, celui-ci remplace la sonnerie dans le circuit, et le veilleur de ronde, en faisant la même manœuvre, peut entrer en conversation. Le veilleur de ronde peut ainsi donner l'alarme au poste central. Le poste central peut également, au moyen d'un commutateur spécial qui substitue la sonnerie à l'électro-aimant, donner l'alarme au veilleur. Dans ce cas, lorsque celui-ci introduit sa fiche dans la boîte de contrôle, il fait fonctionner la sonnerie du poste et, grâce à l'indicateur de contrôle placé sur son baudrier, il est prévenu qu'il doit se mettre en relation téléphonique avec le poste central.

Le système imaginé par M. Vaudrey, et qu'il désigne sous le nom de « la Sentinelle », a pour but d'avertir les veilleurs, à des intervalles déterminés, de contrôler et d'enregistrer leur service.

L'installation comporte : 1° un distributeur automatique établissant un courant électrique à des intervalles de temps déterminés dans les circuits reliant les divers appareils ; 2° une sonnerie et un commutateur automatique muni d'un contact à déclenchement, sur lequel doit agir le veilleur après chaque avertissement. Ces deux appareils constituent le poste du veilleur ; 3° une sonnerie de contrôle placée dans le local occupé par le surveillant ; 4° un enregistreur, placé chez le chef de l'établissement ; 5° enfin, une batterie de plusieurs éléments de pile.

Le distributeur se compose d'un mouvement d'horlogerie dont l'axe de la grande roue porte une roue à rochet présentant une ou plusieurs encoches suivant la fréquence des contrôles à exercer. Les extrémités de deux cliquets-sautoirs articulés sur une platine, faisant corps avec le support du mouvement d'horlogerie, viennent s'appuyer sur la tranche du rochet et y sont maintenues légèrement pressées par des ressorts. En regard de ces cliquets-sautoirs sont des contacts, isolés électriquement de la masse du mouvement d'horlogerie. Lorsque le rochet, qui tourne d'une façon continue, vient présenter l'une de ses encoches devant le cliquet, celui-ci s'abaisse et vient buter contre le contact correspondant. Le circuit de la pile se trouve alors fermé et la sonnerie du poste du veilleur se fait entendre. A ce moment, le veilleur doit manifester sa présence en pres-

sant sur un bouton-poussoir annexé à sa sonnerie. Cette manœuvre opère la fermeture du circuit de l'enregistreur, qui entre en fonctionnement et produit, au moyen d'une aiguille fixée à la palette d'un électro-aimant, une perforation sur une feuille de papier, qu'un appareil chronométrique fait dérouler. La manœuvre du bouton-poussoir a en outre pour effet de couper le circuit de la sonnerie de contrôle, ce qui fait que lorsque le second sautoir tombe dans l'encoche du rochet, cette sonnerie ne fonctionne pas. Si le veilleur n'est pas à son poste et si, par suite, il ne pousse pas le bouton-poussoir de sa sonnerie, le second sautoir, en touchant le contact qui lui correspond, ferme le circuit de la sonnerie de contrôle, qui entre en action.

Le surveillant est ainsi prévenu que le veilleur n'est pas à son poste. En même temps, le circuit de l'enregistreur reste ouvert, et l'absence d'enregistrement met en évidence la faute commise.

Ces appareils sont surtout employés dans les usines céramiques et dans les verreries dans lesquelles la régularité du service est particulièrement nécessaire.

MACHINE À VOTER OU SCRUTATEUR ÉLECTRIQUE.

Dans son scrutateur électrique, M. Le Goaziou a cherché à avoir un appareil aussi simple que possible pour résoudre un problème assez complexe, étant donné le nombre considérable de votants dans les Assemblées législatives.

Le problème que s'est posé l'inventeur, répond aux données suivantes : chaque votant peut exprimer son vote *pour* ou *contre* la question soumise au scrutin; il peut *s'abstenir;* enfin, s'il est absent, *l'absence* est enregistrée. Il peut rectifier son vote pendant la durée de l'ouverture du scrutin jusqu'au moment où le dépouillement commence. Le vote est enregistré automatiquement au nom du votant; les votes sont totalisés suivant leurs natures; enfin, le dépouillement du scrutin terminé, les organes qui ont servi à l'exprimer reviennent automatiquement à leur position normale de repos.

L'ensemble des appareils comprend : un distributeur de votes, un enregistreur, quatre totalisateurs ou compteurs, un relais répartiteur, des transmetteurs ou commutateurs en nombre correspondant à celui des votants.

Tous ces appareils sont reliés entre eux et à une source d'électricité par quatre circuits généraux, correspondant aux quatre natures de votes : *pour, contre, abstention, absent,* transmis par les transmetteurs de votes à l'enregistreur, par l'intermédiaire du relais répartiteur.

Le distributeur consiste en une aiguille pouvant tourner autour d'un axe et portant à une extrémité deux balais métalliques qui, dans leur mouvement, frottent, l'un sur une couronne continue reliée électriquement à la source d'électricité, l'autre sur une série de touches en nombre égal à celui des votants et communiquant avec les transmetteurs commutateurs dont disposent ceux-ci. Dans un tour complet, l'aiguille du distributeur met donc successivement tous les transmetteurs en communication avec la source d'électricité.

L'enregistreur est un cylindre sur lequel est enroulée une feuille de papier divisée en cinq colonnes. Dans celle du milieu sont inscrits les noms des votants; à gauche, se trouvent la colonne des *pour* et celle des *abstentions;* à droite, la colonne des *contre* et celle des *absents*. Sur l'axe de rotation du cylindre enregistreur, est fixée l'aiguille du distributeur. Celle-ci est donc entraînée par le mouvement de l'enregistreur. La feuille des votes est repérée de telle sorte que les noms des votants, qui y sont inscrits, correspondent exactement à la position des touches sur lesquelles frotte le balai de l'aiguille et, par suite, aux transmetteurs auxquels ces touches sont reliées. Quatre marqueurs électriques, consistant en des molettes encrées commandées par des électro-aimants, inscrivent les votes émis dans les quatre colonnes de l'enregistreur. Chacun des électro-aimants est dans le circuit de l'un des quatre fils servant à transmettre les votes.

Le répartiteur de votes se compose de trois électro-aimants pouvant attirer des armatures à contact, combinés de telle sorte que, par la manœuvre de deux boutons seulement dans le transmetteur, on puisse actionner les électro-aimants des marqueurs et donner ainsi quatre indications distinctes. Les compteurs-totalisateurs sont électromagnétiques et ne présentent rien de particulier.

Le transmetteur de votes comprend deux boutons qui, lorsqu'ils sont poussés, actionnent des commutateurs. La disposition des contacts est faite pour obtenir les résultats suivants : l'un de ces boutons sert pour le vote *pour,* l'autre pour le vote *contre; l'abstention* s'obtient en poussant les deux boutons; enfin, si le votant est absent, les deux boutons sont dans leur position d'attente, et, dans ce cas, c'est le marqueur correspondant à *absent* qui est actionné. Entre les deux boutons est une bobine dans laquelle peut se mouvoir un noyau de fer doux; à la partie supérieure de ce noyau est une platine perpendiculaire à son axe sur laquelle viennent s'appuyer les extrémités des boutons quand ils sont poussés à fond. Le vote terminé, un courant de sens convenable est envoyé dans la bobine, le noyau est attiré vivement, la platine agit sur les boutons, qui sont remis ainsi automatiquement dans leur position d'attente.

En résumé, avec ce système, lorsque la fermeture du scrutin a été annoncée, le président de l'assemblée met en mouvement (par un moyen mécanique ou électrique) l'enregistreur et, par suite, l'aiguille du distributeur. Au moment où le balai du distributeur passe sur la touche correspondant au transmetteur d'un votant, le nom de celui-ci se trouve au droit des quatre styles de pointage, le circuit de la source d'électricité est fermé, et, suivant la position des boutons du transmetteur, le style correspondant au vote émis est actionné et le résultat du vote est inscrit, en même temps qu'il est enregistré par le compteur correspondant. Dans un tour complet, on peut avoir rapidement le résultat du scrutin.

Ce système est présenté par M. Le Goaziou non pas au complet, ce qui serait assez difficile à réaliser autrement qu'en application définitive, mais par des éléments qui permettent d'apprécier les résultats que l'inventeur a cherché à obtenir et la manière ingénieuse dont certaines difficultés de détail ont été résolues.

OUVERTURES DE PORTES À DISTANCE.

CONTRÔLE DE FERMETURE DE PORTES.

M. Jausseran expose une grille avec portes latérales, ainsi que des chassis d'aération sur lesquels sont installées des serrures électriques pouvant être actionnées à grande distance.

L'une de ces serrures est a deux pênes, dont un pêne dormant fermant à double tour avec la clef, et un pêne coulant ouvrant à demi-tour à l'aide d'une équerre pivotante fixée sous le pêne dormant. Lorsque le courant est envoyé dans la bobine, la tête du pêne coulant pivote et rentre dans la serrure. Dès que la porte est ouverte, cette tête est poussée par un ressort et revient à sa position normale.

Un autre type de serrure ne comporte pas de pêne dormant; dans ce cas, le pêne coulant est placé au milieu de la serrure, qui est à cinq gorges, dont une mobile faisant fonctionner le pêne poussé par la clef; sur le pêne coulant est une pièce en ébonite sur laquelle sont fixées deux bornes en cuivre avec vis de serrage; à chaque borne est fixé un fil de l'électro-aimant. Les vis reçoivent les fils de ligne allant à la pile en passant par les commutateurs de manœuvre.

Ces serrures sont en cuivre pour portes en fer et en fer pour portes en bois. M. Jausseran présente également une serrure dite *anti-cambrioleur* pour porte d'appartement. Elle est construite d'après les données ci-dessus, mais la sonnerie fonctionne avec contacts spéciaux lors de l'introduction de fausses-clefs dans le canon et au demi-tour, et sur toute la hauteur de la porte, par un contact en feuillure, dans le cas où une pince est introduite en un point quelconque de celle-ci.

Les serrures électriques de M. Piret sont également construites de telle façon qu'une émission de courant détermine l'ouverture des portes de toutes dimensions. Pour l'ouverture des portes cochères, comme c'est le même fil qui sert à la sonnerie et à l'ouverture, la sonnerie doit être à fil fin, de manière à présenter une résistance de 50 ohms environ, afin que la gâche puisse s'ouvrir en même temps que la sonnerie fonctionne.

M. Piret expose également un appareil chronométrique très simple destiné à fonctionner pendant un temps court (3 à 5 minutes) et à donner un contact qui permette l'allumage d'une lampe électrique. Cet appareil est employé pour permettre à un locataire rentrant après l'extinction normale des lampes, d'avoir cependant de la lumière pour rentrer chez lui. L'allumage est produit par le mouvement du cordon d'ouverture, qui déclenche l'appareil chronométrique.

Dans le contact de sûreté en paumelle, M. P. Meyère a réalisé un système dans lequel il ne puisse être possible à quelqu'un de malintentionné d'immobiliser l'appareil de contrôle. Il peut arriver en effet que par l'introduction d'un corps étranger mauvais conducteur dans la partie mobile des contacts, lorsque ceux-ci sont placés à l'extérieur

des portes ou des fenêtres, on empêche la sonnerie d'alarme de fonctionner lorsque les portes ou les fenêtres sont ouvertes. Pour atteindre ce but, M. Meyère place les contacts dans la paumelle et, par suite, les soustrait à toute action du dehors. Ces contacts sont constitués par des cylindres en partie en cuivre, en partie en matière isolante qui tournent dans la paumelle en même temps que la porte et qui établissent ou interrompent les circuits électriques qui aboutissent à la sonnerie, comme le ferait un commutateur circulaire. Les fils qui entrent dans la paumelle et sont reliés aux parties fixes du commutateur sont dissimulés dans des rainures de manière à être à l'abri de tout contact extérieur. Un contrôle spécial permet de vérifier à tout instant, du poste gardé, si les fermetures sont bien complètes.

La Société des avertisseurs électriques expose un appareil d'une grande sensibilité dont le fonctionnement, sous la moindre trépidation, produit la fermeture d'un circuit électrique. L'appareil consiste en un pendule qui oscille dans un anneau de diamètre variable, suivant que l'on désire obtenir une sensibilité plus ou moins grande. La tige du pendule en touchant l'anneau ferme le circuit d'une pile dans lequel se trouve une sonnerie avec ou sans relais et au besoin un allumoir électrique. La moindre pression sur la porte, contre laquelle est installé ce pendule, provoque le tintement de la sonnerie.

INDICATEUR DE RABAIS OU DE DÉBIT MAXIMUM DE COURANT.

L'indicateur de Wright, construit par M. Mildé, est destiné à mesurer à un moment quelconque le courant maximum qui a passé dans un circuit pendant un certain temps. Il est basé sur les effets thermiques du courant sur une masse gazeuse; il peut par suite, être employé pour les courants alternatifs et les courants continus. En outre, comme il faut un certain temps à une masse gazeuse pour s'échauffer, l'appareil n'indique pas les variations instantanées provoquées par des causes accidentelles telles que court circuit, démarrages, etc., ce qui pourrait fausser les indications.

L'appareil se compose d'un tube en U hermétiquement clos et renfermant un liquide coloré. Ce tube porte à l'extrémité de gauche une ampoule entourée d'un ruban en platinoïde, alliage d'une forte résistance électrique; lorsque l'appareil est au zéro, le liquide affleure dans le tube de droite à la jonction d'un tube indicateur. Quand un courant passe dans le ruban métallique, l'air contenu dans l'ampoule s'échauffe, se dilate et chasse le liquide dans le tube de droite, d'où il tombe dans le tube indicateur. Ce dernier est gradué et le niveau du liquide enregistre l'intensité du courant maximum qui a passé dans l'appareil. La lecture terminée, on remet l'appareil au zéro. La graduation en watts est faite expérimentalement en faisant passer dans le ruban en platinoïde des courants d'intensités connues.

Ce système peut être employé pour l'éclairage électrique en application des tarifs différentiels; la graduation se fait alors en indiquant le nombre de kilowatt-heures qui doivent être consommées pendant une période quelconque, avant que le prix réduit soit

appliqué. Dans ce cas, l'appareil est contenu dans une boîte en fonte, munie d'une glace, de manière à ce que l'échelle graduée soit visible de l'extérieur. Le couvercle de la boîte est plombé afin d'éviter les fraudes.

RÉVEILLEURS AUTOMATIQUES.

MM. Le Billon et Cie exposent un appareil destiné à réveiller automatiquement les voyageurs dans les hôtels à l'heure qu'ils ont fixée. L'appareil se compose d'un tableau surmonté d'une pendule et comprenant autant de petits cadrans de quatre centimètres de diamètre qu'il y a de chambres dans l'hôtel. Ces cadrans sont munis d'un index mobile et reliés à une sonnerie électrique, qui se trouve dans la chambre du numéro correspondant. Le voyageur n'a qu'à mettre l'index du cadran sur l'heure à laquelle il désire être réveillé, et la sonnerie correspondante se fait entendre au moment voulu.

M. Carrez-Lemaire présente un tableau analogue donnant les mêmes résultats.

MACHINES À GRAVER.

Un certain nombre de ces machines, d'ailleurs très simples, est représenté à l'Exposition, entre autre dans les stands de MM. Lambert et Chauvet. Ces appareils consistent en une bobine dont la palette est montée en trembleur et qui donne ainsi un mouvement de va-et-vient très rapide à une tige articulée à l'extrémité de la palette. Cette tige est terminée par une pointe en acier, fortement trempée, et entourée par un tube dans lequel elle se meut librement. En tenant ce tube à la main et en dirigeant la pointe au-dessus de la plaque métallique, que l'on veut attaquer pour produire la gravure, on obtient le résultat voulu. La boîte contenant l'électro est suspendue à un support fixe, placé à une certaine hauteur, afin de permettre le libre mouvement du tube entourant la tige traçante. Suivant la finesse des traits ou du dessin à représenter, la pointe présente une acuité ou des formes particulières.

ALLUMAGE ÉLECTRIQUE.

Un assez grand nombre d'allumeurs électriques à essence sont exposés dans la Classe 27 : allumeurs à pile sèche et étincelle de rupture présentés par M. Vigniard; à pile humide avec sel excitateur chromique et à fil de platine porté à l'incandescence fabriqués par M. Carrier-Bernard; à pile sèche avec mouvement de recul du balai, de façon que celui-ci n'agisse que pendant le relevage du bouchon provoquant l'allumage, présenté par M. Franceschi. Indépendamment d'un allumeur à pile au sel chromique, M. Neveur expose un allumeur à magnéto dans lequel l'étincelle produisant l'allumage est produite par arrachement.

L'allumage électrique présente un intérêt particulier dans l'automobilisme et, dans cet ordre d'idées, M. Le Goaziou a exposé, dans la Classe 27, un dispositif qui présente

l'avantage de supprimer la production des étincelles de fermeture de circuit, qui sont parfois insuffisantes, et d'utiliser exclusivement les étincelles induites de rupture, dont la tension est plus considérable. Ce résultat est obtenu en mettant en court circuit les bornes de l'induit de la bobine au moment de la production de chaque courant induit de fermeture.

Pour arriver à ce résultat, l'inventeur a établi une came d'allumage au moyen d'un cylindre isolant à deux diamètres, constituant deux poulies étagées : sur les faces extérieures de ces poulies et à une petite distance l'une de l'autre, sont fixés des secteurs métalliques sur lesquels viennent s'appuyer des ressorts de contact communiquant : l'un avec l'inducteur de la bobine d'allumage, l'autre avec l'induit. D'autre part, les secteurs métalliques, le pôle négatif de la pile relié à l'une des bornes de l'inducteur, la sortie de l'induit et la pointe d'explosion de la bougie d'allumage communiquent avec la masse du cylindre moteur. Dans ces conditions, lorsque la came tourne, les deux bornes de l'induit sont reliées en court circuit par la masse, dès que le ressort de l'induit touche le secteur; quand, peu après, le deuxième secteur rencontre le ressort de l'inducteur, le circuit de la pile est fermé et il se produit un courant induit de fermeture qui s'écoule par le court circuit réunissant les deux bornes de l'induit. La rotation continuant, ce court circuit s'ouvre sans produire d'effet électrique, et ce n'est que peu après que, le circuit primaire étant rompu à son tour, le courant induit direct se développe dans le circuit induit. A ce moment le ressort de l'induit a quitté le secteur de la came, le court circuit n'existe plus et une forte étincelle éclate entre les deux points d'explosion. Ce système peut être appliqué pour l'explosion des mines.

Un allumage basé sur un principe différent est exposé par l'*Automatic magneto electric ignition Company* d'Angleterre. Cette Société supprime les piles ou accumulateurs ainsi que la bobine en employant une machine magnéto-électrique. L'appareil comprend un ou plusieurs aimants en fer à cheval et un induit fixe; une enveloppe en fer doux, échancrée dans la partie médiane, tourne avec un mouvement alternatif entre les branches des aimants et l'induit, et coupe ainsi, à chaque course, les lignes de force magnétique. Il se produit dans la bobine des courants dont la tension est variable à chaque mouvement de l'enveloppe. D'autre part, le moteur qui donne le mouvement à cette enveloppe produit en même temps, au moyen d'un excentrique, un mouvement de va-et-vient à une pièce terminée en T, dont une branche vient s'appuyer sur une goupille fixe. La pièce en T et la goupille sont mises en communication électrique avec l'induit. Les pièces sont réglées de façon que l'arrachement qui se produit à chaque mouvement coïncide avec le moment où la tension du courant dans l'induit est maximum. Au moment de la rupture il se produit une étincelle très brillante et très chaude.

A propos de ces appareils signalons également l'allumeur temporaire de MM. Mildé et Malterre, employé pour des cabines d'ascenseurs ou des escaliers. Il se compose d'un bouilleur de Franklin, de deux résistances fixes entourant alternativement l'une ou l'autre ampoule du bouilleur, d'une résistance additionnelle et d'un solénoïde à

noyau qui met en mouvement les pièces de contact au moyen d'un ou de plusieurs commutateurs de manœuvre placés à proximité ou à distance de l'appareil. Le tube qui met en communication les deux ampoules du bouilleur, est monté en fléau de balance sur un axe qui permet l'inclinaison à droite ou à gauche de l'ampoule la plus lourde; en appuyant sur l'un des deux commutateurs de manœuvre, le noyau du solénoïde établit les contacts destinés à faire passer le courant dans l'appareil d'utilisation (lampe ou autre), ainsi que dans la résistance qui entoure l'ampoule chargée de liquide. Sous l'influence de la chaleur dégagée par le passage du courant, le liquide passe dans l'autre ampoule et fait basculer le système oscillant; l'axe porte un doigt qui, se déplaçant suivant un arc de cercle, appuie au passage sur un ressort et fait déclencher les contacts du solénoïde. L'appareil est alors remis à l'état de repos; on règle la durée de l'oscillation au moyen de la résistance additionnelle.

PARATONNERRES.

M. Borrel expose sur un panneau des modèles de pointes, supports et raccords à vis des conducteurs soudés à l'étain. Les pointes sont en cuivre rouge pur ou en platine pour les supports uniques en fer doux et de hauteur appropriée; on remarque, en outre, des aigrettes pointes en cuivre rouge, destinées à être réparties sur les toitures et aux angles des bâtiments. Les conducteurs sont des câbles en cuivre rouge de 7 torons de 7 fils avec âme en chanvre goudronné ou, surtout dans le cas des aigrettes, des rubans en cuivre rouge étamé ou plombé de trois centimètres de largeur et deux ou trois millimètres d'épaisseur. Tous ces appareils sont bien construits et particulièrement soignés dans les détails.

Ce constructeur présente en même temps des appareils de contrôle ayant pour but de vérifier l'état des paratonnerres.

L'un des types exposés, étudié par M. Borrel, comprend un pont de Wheastone, une caisse de résistance à 10 bobines avec shunts permettant de mesurer graduellement de 0,1 à 63 ohms et de 63 à 630 ohms par dizaines, un galvanomètre horizontal avec shunt, un commutateur automatique éliminant l'influence des courants terrestres sur le galvanomètre, deux treuils métalliques avec embrayage facultatif et manivelle d'enroulement pour 100 mètres de fil isolé, le tout renfermé dans une boîte portative. Une pile sèche complète l'ensemble pour les opérations sur le terrain d'expérience.

Le second type étudié par le commandant d'artillerie Guérin est dénommé *compteur de résistances électriques;* il permet de déterminer directement les résistances électriques comprises entre 1 et 300 ohms, unité par unité. Le mode de comptage employé, analogue à celui des compteurs de tours, comprend des limbes pour les unités, dizaines et centaines qui se manœuvrent isolément au moyen d'une manivelle spéciale. Cette manœuvre correspond à l'établissement automatique des contacts nécessaires à l'évaluation de la mesure cherchée, dont la valeur apparaît en chiffres dans une ouverture vitrée ménagée à la partie supérieure de la boîte renfermant l'appareil. Celui-ci

comprend : un pont de Wheastone, combiné pour maintenir constante la proportionnalité entre les branches du pont, quelle que soit la mesure à effectuer, une caisse de résistance à 9 groupes de bobines, le mécanisme compteur indiqué ci-dessus, un galvanomètre horizontal, un commutateur automatique éliminant l'influence des courants terrestres sur le galvanomètre, les treuils et fils nécessaires et une pile sèche.

La maison Mildé expose des paratonnerres à grandes et moyennes tiges à pointes multiples avec conducteurs en câbles. Elle établit également des paratonnerres à ruban du système Grenet. La substitution des conducteurs à ruban aux conducteurs en barres de fer et le remplacement des tiges par des pointes multiples, présente l'avantage de permettre l'établissement simple d'un plus grand nombre d'appareils protecteurs sur les constructions. Les prises de terre sont constituées par des rubans en cuivre étamé recouverts, en outre, d'une enveloppe de plomb antimonieux. Ce système convient surtout pour la protection des cheminées d'usine où la disposition à double conducteur permet de vérifier à tout instant, avec l'adjonction d'un joint mobile, le bon fonctionnement du paratonnerre.

La maison Zwarg, en Allemagne, expose des pointes de paratonnerres de longueurs variables. Les pointes en platine sont vissées sur des tiges de cuivre fixées elles-mêmes au moyen de boulons sur les tiges des paratonnerres. D'autres pointes de plus petite dimension sont destinées à être groupées pour constituer des aigrettes; celles-ci sont toutes reliées entre elles et avec les conducteurs au moyen de soudures, jusqu'au point où se trouve le fil de terre. L'ensemble constitue ainsi un réseau métallique dont toutes les parties sont intimement reliées à toutes les pièces métalliques de la construction.

M. Braune présente dans la section suisse une série de pointes de paratonnerres constituées par du nickel pur : ce métal remplace le platine employé ordinairement dans la construction de ces appareils.

M. Anderson, dans la section suédoise, expose différents types de paratonnerres du modèle courant. Dans l'installation de plusieurs appareils ayant chacun leur terre, la jonction du câble conducteur avec le câble de terre se fait à une certaine hauteur au-dessus du sol au moyen de contacts coniques à emboîtement, renfermés dans une boîte cylindrique dont l'extérieur est fileté sur une certaine hauteur, de manière à permettre la séparation des deux portions des conducteurs par une rotation de la boîte. L'avantage de cette disposition est de permettre facilement et rapidement la vérification de l'état des terres pour chacun des paratonnerres en service.

M. Anderson présente également un paratonnerre spécial destiné à être placé en haut des mâts des navires, afin que le pavillon, qui se trouve en général au sommet de ces mâts, ne viennent pas s'accrocher à la pointe de l'appareil; celui-ci, qui se compose de cinq tiges divergentes, est entouré par une sphère percée de trous au droit de chacune des pointes, sur laquelle peut glisser l'étoffe du pavillon.

MACHINES À ÉCRIRE ÉLECTRIQUES.

Les établissements Sundern, de Westphalie, exposent des machines à écrire dans lesquelles l'impression des lettres sur le papier est obtenue au moyen d'un déclenchement électrique. Les doigts n'ont plus, dans ce système, à produire un effort musculaire pour faire fonctionner, au moyen de combinaisons de leviers, les tiges portant les lettres; il suffit d'un très petit mouvement sur le clavier de transmission pour opérer les contacts électriques voulus, qui transmettent le courant au clavier récepteur.

La maison Siemens et Halske a combiné des machines à écrire avec des récepteurs imprimant, de manière qu'au moyen d'un seul fil, on puisse transmettre des dépêches écrites. Dans ces appareils, le récepteur comporte une roue des types, qui s'arrête au droit de la lettre sur laquelle une pression a été exercée au cadran de la machine à écrire. La concordance entre le transmetteur et le récepteur est obtenue au moyen d'un dispositif spécial de commutateur rotatif comme pour les appareils de télégraphie. L'appareil comporte un transmetteur et un récepteur et l'envoi des dépêches se fait aussi simplement que quand on écrit à la machine.

INDUSTRIES DIVERSES.

L'industrie du mica tend à prendre de l'extension par suite de l'emploi de plus en plus fréquent des courants à haute tension, qui exigent des isolations de premier ordre.

Le mica seul se prête difficilement à la construction de pièces de toutes formes et de toutes dimensions, répondant aux besoins de l'industrie électrique actuelle.

Aussi emploie-t-on aujourd'hui le mica principalement sous forme d'aggloméré, dénommé *micanite*. Ce produit est formé de feuilles de mica très minces, collées au moyen de gomme-laque et comprimées à une pression minimum de 500 kilogrammes. On peut ainsi fabriquer des pièces moulées des formes les plus variées et les plus compliquées et de dimensions quelconques.

La maison Choquet-Goddier est l'une des seules qui fabrique exclusivement des objets en mica pur; elle travaille par suite la matière première, qui lui vient du Canada, de la Caroline ou des Indes, et vend les déchets pour la fabrication de la micanite. Les objets en mica exposés sont de fabrication très soignée, et certains plateaux atteignent un diamètre fort convenable. Cette maison a construit l'Étoile lumineuse, placée au haut du Palais de l'électricité à l'Exposition; elle en présente un modèle réduit dans sa vitrine.

La maison Avtsine et Cie fabrique des objets en micanite de toutes formes pour dynamos, transformateurs, condensateurs, etc. Elle présente des pièces moulées embouties assez compliquées pour les courants à haute tension.

La maison Lagneau expose des produits analogues construits d'après les mêmes principes.

En Allemagne, MM. Meirowsky et Cie, de Cologne, exploitent la même industrie et présentent des pièces dont les formes se rapprochent sensiblement de celles que nous voyons chez nos constructeurs.

En Amérique, la *Mica Insulator Company* est la première qui ait eu l'idée de fabriquer la micanite. Cette société expose un grand nombre de produits de son industrie : cylindres de toute épaisseur, plateaux, pièces embouties, etc.

MM. Caralp et Laur fabriquent surtout des aimants. Ils emploient des aciers anglais et leurs produits se recommandent par les soins qu'ils prennent pour arriver à une fabrication et à une aimantation aussi parfaites que possible. Les modèles qu'ils exposent sont très variés dans leurs formes et dans leur puissance magnétique.

MM. Perceval et fils fabriquent des pièces détachées pour tous les appareils télégraphiques, téléphoniques, sonneries, etc., employés dans l'industrie ; un grand nombre de ces pièces est obtenu par l'étampage et, grâce à la perfection de l'outillage employé, les pièces ainsi fabriquées peuvent être utilisées sans retouche dans le montage des appareils.

Enfin M. Leguay, dont la spécialité est la construction des bobines, expose les échantillons les plus variés de son industrie. On peut voir dans sa vitrine, à côté de grosses bobines de résistances, et de rhéostats, les bobines les plus délicates pour galvanomètres à cadre mobile de forme annulaire ou rectangulaire. Le bobinage est particulièrement soigné, et beaucoup de constructeurs demandent à la maison Leguay les bobines qui leur sont nécessaires pour la construction de leurs appareils.

IMPRIMERIE NATIONALE.

SIXIÈME PARTIE.

APPAREILS DE CHAUFFAGE PAR L'ÉLECTRICITÉ.

La transformation de la chaleur en énergie électrique, puis de cette dernière en chaleur, ne peut évidemment se produire sans pertes sensibles. L'emploi de l'électricité pour chauffer des appartements, des appareils de cuisine ou des appareils industriels ne saurait donc, au moins quant à présent, être économique. Cependant, dans certains cas particuliers, il peut y avoir intérêt à se servir du courant électrique pour le transformer en chaleur. Si par exemple, ce sont des chutes d'eau importantes qui produisent l'énergie électrique, dans des conditions de bon marché exceptionnelles, si le combustible est cher dans les régions où sont installées ces chutes d'eau, l'augmentation de dépense peut être réduite dans de fortes proportions.

D'autre part, dans les installations particulières, aujourd'hui surtout que l'éclairage électrique s'est développé considérablement, il peut être commode de faire chauffer de l'eau, ou des fers à friser (dans un cabinet de toilette ou un office) en tournant simplement un commutateur : mais dans ce cas la question de dépense disparaît devant le confortable de l'installation.

Le principe de tous les appareils employés pour transformer l'énergie électrique en chaleur est toujours le passage du courant dans des conducteurs de faible section, mais les procédés pour arriver au résultat voulu, principalement en ce qui concerne l'application de la résistance sur la surface de chauffe, constituent des méthodes variées qui différencient les systèmes présentés par les industriels.

Certains de ceux-ci, comme M. Adnet, n'ont envisagé que l'application du chauffage électrique aux appareils de laboratoire. C'est principalement pour les étuves à fermentations et à cultures que le système est employé.

Cet industriel a étudié, sur les indications de M. le professeur d'Arsonval, un appareil formé de deux plaques de métal plongées dans l'eau comme dans un rhéostat liquide et placées à des distances variables l'une de l'autre suivant que l'on a à fournir plus ou moins de calorique. Un régulateur mécanique intercepte le courant quand la température voulue est atteinte, ce qui permet de réduire au minimum la dépense d'électricité et de maintenir la constance de la température.

Cet appareil est employé quand la température maximum ne doit pas dépasser 80 degrés ou 90 degrés; si celle-ci doit être dépassée, on peut employer un liquide n'entrant en ébullition qu'à une température supérieure (eau et potasse, par exemple).

M. Adnet présente également des appareils sans liquide pour les températures dépassant 100 degrés. Le chauffage est obtenu au moyen de lampes spéciales à incandescence et circulation de l'air chaud dans des tubes placés autour de l'étuve. La

température est réglée, comme dans le cas précédent, par un régulateur métallique.

Enfin pour les températures atteignant 200 degrés, l'appareil employé est un tube en terre réfractaire à rainures sur lequel est enroulé en spirale un fil de platine.

Dans le système employé par la Compagnie générale de chauffage par l'électricité le principe est le suivant : sur les surfaces extérieures latérale et inférieure d'un récipient en tôle émaillée, qui constitue par suite une matière isolante, est déposée une couche très mince de métaux précieux pulvérisés. Cette couche forme un large ruban et sert de conducteur au courant électrique. L'on conçoit que l'on puisse donner à ce ruban des dimensions telles que l'échauffement produit par le passage d'un courant de tension déterminée permette d'amener rapidement l'eau à l'ébullition.

La Compagnie de chauffage présente plusieurs types d'appareils. Les plus petits sont à deux contacts, il n'y a qu'un circuit et pas de réglage.

Les plus grands sont à trois contacts, et le circuit est disposé de façon à permettre l'utilisation du courant de quatre façons:

1° Chauffer le fond et le côté successivement (chauffage très lent).

2° Chauffer le côté seul.

3° Chauffer le fond seul.

4° Chauffer le fond et le côté simultanément (chauffage rapide).

Dans les appareils profonds, le chauffage par le côté est le plus rapide.

Tous les appareils sont destinés à chauffer des liquides dont les points d'ébullition sont peu différents de celui de l'eau.

Il ne faut faire passer le courant que lorsque les liquides ont été introduits dans les récipients.

Pour les appareils de chauffage à haute température, pouvant aller jusqu'au rouge sombre, le circuit est porté par des feuilles de mica très minces, comprimées entre deux surfaces métalliques développables (plan, cylindre, cône); on établit ainsi des fers à repasser, fers à friser, fers à gauffres. Ce système dérive des brevets allemands Prometheus.

D'autres types d'appareils dérivant des brevets anglais Dowsing, sont construits par la Compagnie générale de chauffage par l'électricité. Ils sont constitués par des lampes à incandescence de construction spéciale fonctionnant sous un voltage tel, que le filament reste au rouge naissant. Ces lampes sont cylindriques, ont 60 millimètres de diamètre et 250 millimètres de longueur, disséminant 250 watts avec un seul filament et 500 watts avec deux. Ces lampes sont placées devant un réflecteur spécial qui a pour but de renvoyer la presque totalité de la chaleur dans la direction voulue; des fours de boulangerie et de pâtisserie basés sur ce principe sont installés et fonctionnent à l'Exposition.

M. Le Roy emploie comme résistance des crayons de silicium aggloméré et métallisés aux deux extrémités. Ces crayons à section rectangulaire sont renfermés dans des tubes de verre, dans lesquels on a fait le vide. Le courant électrique passant par ces crayons les porte rapidement à une température élevée. Ils peuvent être disposés parallèlement

de manière à constituer une grille. L'un des appareils exposés est un calorifère dont la partie inférieure renferme le foyer. Celui-ci se compose de plusieurs grilles comprenant les prises de courant correspondantes, de telle sorte que l'on peut mettre en service le nombre de grilles nécessaire. La partie supérieure constitue la chambre de chauffe, permettant d'utiliser la chaleur dégagée pour tous les besoins domestiques, en même temps que pour le chauffage de l'air ambiant.

M. Le Roy expose en outre des appareils de plus petite dimension, servant pour la cuisine ou pour le chauffage d'appareils usuels, et basés sur le même principe.

Dans un autre ordre d'idées, cet industriel a étudié l'emploi de crayons de silicium aggloméré en vue de constituer des résistances électriques. Il fabrique ainsi des crayons de 100 millimètres de longueur, 10 millimètres de largeur et 5 millimètres d'épaisseur, pouvant donner des résistances depuis 0 ohm jusqu'à 100 ohms. Le nombre de crayons nécessaires pour former une résistance déterminée étant fixé, on les monte soit en parallèle soit en série.

Les appareils de chauffage présentés par M. Dutertre sont basés sur un principe différent. Ces appareils sont combinés pour utiliser en même temps le rayonnement direct et la réflexion, au moyen de réflecteurs, de lampes à incandescence d'intensités variables, depuis 1/2 ampère sous 110 volts jusqu'à deux ampères. Ces appareils diffèrent par leurs formes et leurs dispositions, suivant qu'ils sont destinés à la cuisson, au rôtissage ou au chauffage. Les fourneaux sont à 1, 2 ou 4 foyers. M. Dutertre expose en outre des réchauds de table, des chaufferettes à contact automatique, fonctionnant sous la pression des pieds, des chauffe-fer à friser, et des appareils radiateurs pour le chauffage des appartements.

La Société du *Familistère de Guise*, Colin et Cie, construit des appareils de cuisine, de chauffage, ainsi que des rhéostats de diverses natures. Leur construction est basée sur le principe suivant, breveté par Crompton et Cie : Sur une plaque de fonte de dimensions et de forme appropriées est placée une première couche d'émail, conductrice sur laquelle est fixée une résistance en platine, maillechort ou ferro-nickel; cette résistance est elle-même recouverte d'une nouvelle couche d'émail. Dans ces conditions, la plaque de fonte est adaptée dans un cadre métallique nickelé ou émaillé. C'est de cette manière que sont constitués les chauffe-plats, grils-pain, grils-biftecks, cuisinières, calorifères, radiateurs, chaufferettes, bouilloires, etc., qui figurent à l'Exposition. La température obtenue est de 70° environ pour les chaufferettes, 110° pour les chauffe-plats, 220° pour calorifères et 250° pour les grils-biftecks, grils pains et bouilloires. Ces appareils sont en général construits pour des courants de 110 volts, courant normal des usines de distribution d'énergie électrique.

Pour les rhéostats, le principe de la construction diffère peu de celui décrit précédemment; mais il y a lieu de prendre des précautions spéciales pour éviter l'échauffement. A cet effet, la plaque de fonte est munie de nervures, qui, augmentant la surface rayonnante, facilitent le rayonnement de la chaleur. La Société du Familistère de Guise expose des rhéostats de démarrage pour moteurs au-dessous de 1 cheval, des

rhéostats à manette pour moteurs de 10 chevaux, des rhéostats de réglage pour moteurs, ou éclairage électrique; enfin des plaques de résistances diverses, munies de bornes destinées à être reliées aux plots de commutateurs.

Dans le système de chauffage exposé par la Société des anciens Établissements Parvillée frères, la chaleur est produite par le passage du courant dans des résistances métallo-céramiques, obtenues par l'introduction dans une poudre métallique de corps spéciaux non conducteurs de l'électricité. Ces résistances, par suite de la forte pression et de la haute température auxquelles elles sont soumises pendant leur fabrication, acquièrent une grande solidité et se prêtent à toutes les exigences de l'industrie. Sous l'influence d'un courant électrique, elles peuvent être poussées à une très haute température. Elles sont métallisées à leurs extrémités et assemblées sous forme de grilles à l'air libre; elles permettent ainsi de constituer pour la cuisine des grils électriques sur lesquels on peut faire rôtir la viande, absolument comme sur un feu de braise ordinaire.

La Société des anciens Établissements Parvillée présente : un grand appareil de cuisine, avec grilloir à feu vif, consommant 70 ampères et permettant la cuisson de 30 grillades à la fois. A la partie inférieure se trouve un grand four-rôtissoire consommant 60 ampères, et permettant de rôtir 50 kilogrammes de viande à le fois. Dans la partie supérieure se trouvent une étuve et un chauffe-plat. Cette Société expose, en outre : des appareils électriques pour le chauffage des appartements; calorifères à feu vif avec résistances métallo-céramiques, des braseros et radiateurs montés avec lampes chauffantes, dont la consommation par lampe est de 2 ampères, sous 110 volts. Ces lampes ne dépassent pas le rouge sombre sous l'influence du courant. Enfin divers appareils tels que fers à souder, consommant 1 ampère 4, dans lesquels un fil enroulé en forme de boudin est disposé sur la surface de chauffe, chauffe-lits, fers à repasser et à friser, étuves pour fleuristes, etc.

Il y a lieu de signaler ici une application complète du système de chauffage par l'électricité, faite par la Société des anciens Établissements Parvillée frères au restaurant de *la Féria,* pavillon de l'Espagne. Le gouvernement espagnol, en raison des riches tapisseries et armes exposées dans ce pavillon, n'a voulu autoriser la location du rez-de-chaussée à un restaurant qu'à la condition qu'il ne serait fait usage ni de charbon, ni de gaz ou de pétrole; on a donc eu recours à l'électricité.

La cuisine de ce restaurant était assurée par :

1° Un grand fourneau de 2 m. 10 sur 1 m. 10, muni de huit foyers constitués par des groupes de résistances métallo-céramiques. Quatre de ces foyers consommaient chacun 25 ampères; chaque foyer était commandé par un interrupteur, de manière à supprimer tout foyer non utilisé.

2° Deux grands grilloirs à feu vif avec chauffage par la partie supérieure, consommant l'un 35 ampères, l'autre 25 ampères.

3° Deux fours, l'un à chauffage inférieur de 20 ampères, l'autre à chauffage supérieur de 50 ampères divisé en plusieurs circuits.

4° Un réservoir à eau chaude de 30 litres consommant 20 ampères et un légumier de même capacité et de même consommation.

Le service du café, chocolat, thé, etc., était fait au moyen d'un petit fourneau à deux bouches de 15 ampères chacune et par un bain marie de 20 ampères.

Tous ces appareils étaient construits en tôle avec armatures en fer poli, à double parement garni d'amiante, de manière à donner le meilleur rendement possible.

Ouvert le 24 avril 1900, le restaurant de la Féria a fonctionné avec la plus grande régularité, fournissant en moyenne 600 repas par jour. La consommation totale a été de 350 kilowatts par jour en moyenne, et, si l'on déduit de ce chiffre 70 kilowatts environ, représentant la dépense d'électricité pour le chauffage des services accessoires (thé, chocolat, café, etc.), il reste 280 kilowatts-h., représentant une moyenne de $\frac{280.000}{600}$ ou 466 watts. h. par repas. Au prix de 0 fr. 50 le kw. h., cette dépense représente 0 fr. 233 pas repas.

Cette application était intéressante à citer, car elle est la première qui ait été faite d'une façon aussi complète.

Les fers à souder exposés par M. Fouché sont constitués par une surface de chauffe en fer sur laquelle sont enroulés des fils de métaux précieux produisant la résistance, la partie de l'appareil qui sert à souder est en cuivre et s'emmanche dans la surface de chauffe par un tronc de cône. Le cuivre se dilatant plus que le fer sous l'influence de la température, la pièce de cuivre est maintenue solidement en place. Des fers à souder de cette nature, consommant 1 ampère 7, ont été employés à la soudure de boîtes de sardines, et ont donné de bons résultats. On a pu augmenter ainsi sensiblement le nombre de boîtes soudées, par suite de la diminution des pertes de temps provenant des changements fréquents d'appareils avec le chauffage ordinaire.

MM. Siemens et Halske, de Berlin, exposent des appareils de chauffage industriels. La résistance est constituée par des fils fins supportés par un isolant en terre réfractaire. Ces fils forment ainsi une surface de dimension appropriée au calorique que l'on veut obtenir. La forme des appareils est cylindrique ou rectangulaire, suivant l'emplacement que ceux-ci doivent occuper. Une tôle ajourée plus ou moins ornée entoure les résistances.

M. Heraeus présente dans la section allemande des baguettes en porcelaine recouvertes d'un alliage de platine et de silicium, servant comme résistance pour le chauffage électrique et la construction de résistances. Ces baguettes placées les unes à côté des autres, en nombre variable, suivant les effets à obtenir, constituent des grilles, dont la température peut être portée jusqu'au rouge par le passage du courant.

Dans les produits exposés par les États-Unis, figurent un certain nombre d'appareils de chauffage, qui tous fonctionnent au moyen de résistances en fils métalliques noyés ou non dans un émail recouvrant la surface à chauffer.

L'*Abbott Electric and Manufacturing Company* présente des allume-cigares électriques dans lesquels le courant est envoyé, au moyen d'un commutateur à ressort, dans

une résistance en fils fins formant une grille à mailles serrées, qui est portée au rouge et permet ainsi l'allumage.

L'*American Electric Heater Company*, des chaufferettes et des fers à souder dans lesquels les résistances sont constituées par des fils de cuivre-nickel.

L'*American Electric Heating Corporation*, des chauffrettes affectant la forme de pupitres en fonte sur lesquels on peut poser les pieds. Ces chaufferettes pèsent 4 kilogrammes et fonctionnent à l'aide d'un courant de 50 watts emprunté au courant d'éclairage par un conducteur souple. Cette société expose également des rhéostats émaillés employés comme résistances dans les installations électriques.

La *Gold car Heating Company*, de New-York, construit des appareils de chauffage électrique pour les voitures de chemins de fer et de tramways pour les bateaux et pour les appartements. Cette Compagnie a étudié ses appareils principalement en vue du chauffage de l'air, qui doit élever la température de l'espace considéré; aussi s'est-elle efforcée de laisser autour de la résistance, dans laquelle circule le courant, une libre circulation d'air, qui peut ainsi enlever à cette résistance le maximum de calories utilisables. Pour obtenir ce résultat, elle emploie un fil de cuivre-nickel, présentant une grande résistance et peu oxydable, formant une spirale à spires assez rapprochées, et enfilée sur une tige d'acier tordue en sinusoïde allongée et recouverte d'un émail isolant porté à la température de 2,000 degrés. La spirale de cuivre-nickel, dans laquelle est envoyé le courant, est à l'air libre et l'air circule sans obstacle tout autour. Un appareil de chauffage comprend un certain nombre de ces spirales, suivant les résultats à obtenir. Les spirales sont divisées en groupes séparés et commandées par des commutateurs, qui permettent de faire passer le courant dans un nombre variable de groupes et de régler ainsi la température de l'air.

L'ensemble des spirales est entouré d'une enveloppe en tôle perforée de formes et d'ornementations variées suivant les circonstances. Plusieurs milliers de voitures ont été munies de ce système de chauffage sur différentes lignes de chemins de fer et de tramways des États-Unis.

L'*Hadaway Electric Haeting and Engineering Company* et la *Mac Cay Engineering Company*, de New-York, présentent des chaufferettes et des poêles chauffés par l'électricité.

La *Ouata Manufacturing Company*, de Pittsfield, des fers à friser électriques.

L'*United Electric Heating Company*, des appareils de chauffage basés sur le même principe.

M. Ougrimoff présente dans la section russe un appareil ayant pour but de transformer l'énergie électrique en vapeur. L'appareil se compose d'un cylindre métallique au centre duquel est placé un creuset en terre réfractaire contenant une certaine quantité de charbon pulvérisé. Ce cylindre est fermé par un couvercle constitué par des matières isolantes.

Au centre de ce couvercle est fixée une boîte filetée qui reçoit une vis mobile supportant une électrode en charbon, et communiquant avec le pôle positif d'une source

énergique d'électricité. Le pôle négatif est en relation électrique avec le creuset et par suite avec la poudre de charbon. Dans ces conditions, quand le courant passe, l'arc voltaïque se produit comme dans un four électrique.

Le cylindre est entouré complètement d'un second cylindre renfermant de l'eau. Celle-ci est portée à l'ébullition et se réduit en vapeur. On a ainsi une chaudière dont la pression peut varier suivant l'intensité du courant employé. Il est bien certain que l'emploi de ce procédé ne peut avoir sa raison d'être que si l'on se trouve au centre d'une exploitation électrique importante, dans laquelle le prix de revient de l'énergie est très faible, et située à une grande distance de tout appareil ordinaire de production de vapeur.

TABLE DES MATIÈRES.

(Groupe V. — Classes 23 à 27.)

Classe 23. — Production et utilisation mécaniques de l'électricité.

Pages.

CLASSE 23 ..... 3 à 193

Composition du Jury 3

GÉNÉRATEURS MÉCANIQUES D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE.

Considérations générales 5

A. — DYNAMOS À COURANT CONTINU.

Induit. — Anneau et tambour. — Bobinage. — Enroulement 6

Collecteurs. — Balais 9

Classification 11

Inducteurs en acier 11

Tableau des principales conditions de construction et de fonctionnement des dynamos à courant continu de grande puissance 35

Dynamos à intensité constante 50

B. — ALTERNATEURS.

Alternateurs triphasés 54

Dispositions générales. — Compoundage 54

Classification 56

I. — Alternateurs synchrones.

Alternateurs synchrones hétéropolaires 57

Alternateurs hétéropolaires ou à flux alternant 61

Alternateurs homopolaires ou à flux ondulant 84

Compoundage des alternateurs synchrones 93

Tableaux des principales conditions de construction et de fonctionnement des alternateurs synchrones 101

Alternateurs dimorphiques 116

Alternateurs auto-excitateurs 117

II. — Alternateurs asynchrones ou à pôles circulants.

Considérations générales 119

Alternateur de M. Maurice Leblanc 119

Alternateur de M. Boucherot 120

Tableau des principales conditions de construction et de fonctionnement des alternateurs asynchrones 121

TRANSFORMATEURS.

TRANSFORMATEURS INSTANTANÉS OU IMMÉDIATS.

A. — Transformateurs homomorphiques.

Courant continu en courant continu. — Moteurs-générateurs 123
Régulatrices en compensatrices. — Survolteurs. — Survolteurs-dévolteurs 123
Courants alternatifs simples en courants alternatifs simples 126
Dispositions générales. — Proportions 126
Courants alternatifs polyphasés en courants alternatifs polyphasés 128
Transformateurs divers. — Autotransformateurs 131

B. — Transformateurs hétéromorphiques.

Courants alternatifs en courants continus 133
I. Moteurs-générateurs 133
II. Commutatrices. — Considérations générales. — Réglage. — Démarrage 135
III. Permutatrices 145
IV. Transformateurs divers 147

MOTEURS ÉLECTRIQUES.

I. — Moteurs à courant continu. 151
II. — Moteurs à courants alternatifs. 158
Moteurs synchrones ou à champ constant 158
Moteurs asynchrones 160
Applications des moteurs électriques 170

DISTRIBUTION, TRANSMISSION ET TRANSPORT DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE.

Considérations générales 175
Distribution 176
Transmission 177
Transport :
A. Transport par courants alternatifs polyphasés à tension constante 179
B. Transport par courant continu à intensité constante. — Système Thury 187

CANALISATION ET APPAREILLAGE.

Canalisation 192
Appareillage 192
Conclusions 193

Classe 24. — Électro-chimie.

CLASSE 24 ..... 195 à 287

Composition du Jury 197

Électro-chimie :

I. Historique 199

II. Piles 204

III. Accumulateurs 211

IV. Galvanoplastie 233

V. Électrolyse 240

VI. Les fours électriques 255

VII. Applications diverses 275

VIII. Industries connexes 281

Classe 25. — Éclairage électrique.

CLASSE 25 ..... 289 à 545

Composition du Jury 291

Avant-propos 293

Première partie. — Les compteurs électriques 295

Compteurs d'énergie 295
Compteurs de quantité 326
Compteurs horaires 327
Mode d'emploi des compteurs 327
Consommation à vide des principaux compteurs 330

Deuxième partie. — La lumière électrique par arc 332

Chapitre Ier. — Généralités 332
Chapitre II. — Les charbons pour arc 336
Chapitre III. — Étude photométrique systématique d'une paire de charbons 339
Chapitre IV. — Comparaison des charbons de provenances différentes 353
Chapitre V. — Les lampes à arc 355
Chapitre VI. — Description des principaux types de lampes exposées 364
Chapitre VII. — Diagrammes de fonctionnement 419
Chapitre VIII. — Étude du flux lumineux produit par les différentes lampes à arc essayées à leur régime de fonctionnement 448
Chapitre IX. — Étude photométrique de deux lampes en vase clos 457
Chapitre X. — La lumière Bremer 462

Troisième partie. — La lumière électrique par incandescence 472

Chapitre Ier. — Généralités 472
Chapitre II. — Essais photométriques et essais de durée des lampes à incandescence 482
Chapitre III. — Étude expérimentale de la lampe Nernst 496

Quatrième partie. — Appareillage 528
Appendice. — Les bronzes d'éclairage électrique 542
Conclusion 544

Classe 26. — Télégraphie et téléphonie.

CLASSE 26 ..... 547 à 579
Composition du Jury 549
Matériel des lignes 551
Appareils télégraphiques 558
Appareils téléphoniques 570

Classe 27. — Applications diverses de l'électricité.

CLASSE 27 ..... 581 à 748
Composition du Jury 583
Avant-propos 585

PREMIÈRE PARTIE.

APPAREILS SCIENTIFIQUES ET INSTRUMENTS DE MESURE.

Mesures des intensités 589
Mesures des tensions 600
Mesures de résistances 619
Mesure des capacités 627
Mesure de la puissance 627
Appareils pour l'étude des propriétés magnétiques du fer 639
Appareils spéciaux pour courants alternatifs 642
Appareils divers 647

DEUXIÈME PARTIE.

ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.

Première classe. — Applications directes de l'électricité à la médecine 652
Deuxième classe. — Applications indirectes de l'électricité à la médecine 680

TROISIÈME PARTIE.

Horlogerie électrique 707

QUATRIÈME PARTIE.

Application de l'électricité aux chemins de fer 719

CINQUIÈME PARTIE.

INDICATEURS ET ENREGISTREURS À DISTANCE POUR LES PHÉNOMÈNES DE TOUTE NATURE.

Avertisseurs 723
Appareils enregistreurs à distance 726
Industries diverses 740

SIXIÈME PARTIE.

Appareils de chauffage par l'électricité 742
Table des matières 749

Imprimerie nationale. — 7401-10-03.

Special
B-B10198
v.5
THE NETTY CENTER
LIBRARY